



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários

ANP
TRILHOS TIC TRENS

32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS
CATEGORIA 3

TRANSFORMAÇÃO DIGITAL EM FERROVIAS: BIM, AUTOMAÇÃO E
MODELAGEM PARAMÉTRICA



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

RESUMO

A crescente complexidade dos empreendimentos ferroviários e a evolução dos modelos de contratação têm ampliado a demanda por processos de projeto capazes de integrar informações técnicas, planejamento, orçamento, execução e gestão de ativos em uma estrutura digital única. Nesse contexto, este artigo apresenta a evolução do desenvolvimento de projetos de Via Permanente e Rede Aérea de Tração, tradicionalmente elaborados em ambiente *Computer Aided Design* (CAD) bidimensional, para um fluxo de trabalho fundamentado na metodologia *Building Information Modeling* (BIM), na modelagem paramétrica e na automação de processos.

Os projetos são desenvolvidos por meio de alinhamentos, perfis, corredores, assemblies, seções transversais e documentação gráfica em formatos DWG e PDF, com extração manual de quantitativos e limitada integração entre projeto, orçamento e execução. A transformação digital introduz modelos paramétricos tridimensionais enriquecidos com informações geométricas, técnicas, econômicas e construtivas, permitindo automatizar processos, reduzir retrabalhos, aumentar a rastreabilidade das informações e integrar o projeto às etapas de planejamento, orçamento, medição física e gestão contratual.

O trabalho discute a aplicação dessas tecnologias no contexto de empreendimentos ferroviários, analisando seus impactos sobre produtividade, consistência dos modelos, compatibilização interdisciplinar, controle físico-financeiro e gestão dos ativos ao longo do ciclo de vida da infraestrutura. Também são abordadas as perspectivas de utilização dos



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

modelos BIM como base para implantação de *Digital Twins*, consolidando uma abordagem integrada entre projeto, construção, operação e manutenção.

Conclui-se que a transformação digital na engenharia ferroviária ultrapassa a simples substituição do desenho bidimensional pela modelagem tridimensional, constituindo uma mudança metodológica orientada à gestão integrada da informação e à modernização dos processos de engenharia ao longo de todo o ciclo de vida da infraestrutura.

Palavras-chave: engenharia ferroviária; transformação digital; Building Information Modeling (BIM); modelagem paramétrica; automação de processos; Via Permanente; Rede Aérea de Tração; gestão de ativos; Digital Twin.



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Metodologia tradicional e a representação dos elementos de projetos	22
Figura 2 – Modelos paramétricos e a representação dos elementos de projetos	23
Figura 3 – Representação tridimensional de um projeto de infraestrutura ferroviária	24
Figura 4 – Elementos de projetos e seus atributos no software nativo	28
Figura 5 – Dormente de concreto e seus atributos em um modelo IFC	29
Figura 6 – Poste de Rede Aérea de Tração e seus atributos em um modelo IFC	29
Figura 7 – Rotina Dynamo de programação visual para automação de processos.....	31
Figura 8 – Planilha extraída do modelo paramétrico para estimativa orçamentária	33
Figura 9 – Planilha extraída do modelo paramétrico para planejamento 4D	35
Figura 10 – Planilha extraída do modelo paramétrico para controle de manutenção	36



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
2 DIAGNÓSTICO.....	8
2.1 ELABORAÇÃO TRADICIONAL DE PROJETOS FERROVIÁRIOS E LIMITAÇÕES ...	10
2.2 MUDANÇA NO CENÁRIO DAS CONTRATAÇÕES	13
2.3 A NECESSIDADE DA TRANSFORMAÇÃO DIGITAL	16
3 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	19
3.1 DA DOCUMENTAÇÃO AO MODELO DE INFORMAÇÃO.....	20
3.2 A CONTRIBUIÇÃO DA MODELAGEM PARAMÉTRICA.....	25
3.3 AUTOMAÇÃO DOS PROCESSOS DE ENGENHARIA.....	29
3.4 INTEGRAÇÃO DAS INFORMAÇÕES AO CICLO DE VIDA DOS ATIVOS	33
4 CONCLUSÕES	38
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

1 INTRODUÇÃO

A infraestrutura ferroviária desempenha papel estratégico na mobilidade urbana, no transporte de passageiros e cargas e no desenvolvimento econômico sustentável. Em sistemas metroferroviários, a crescente demanda por capacidade operacional, confiabilidade, segurança e eficiência tem ampliado a complexidade dos empreendimentos, exigindo processos de engenharia capazes de integrar informações produzidas ao longo de todo o ciclo de vida dos ativos.

Historicamente, os projetos de Via Permanente (VP) e Rede Aérea de Tração (RAT) são desenvolvidos com base em metodologias fundamentadas em desenhos bidimensionais produzidos em ambientes *Computer Aided Design* (CAD). O processo de projeto concentra-se na elaboração de alinhamentos, perfis, corredores, seções transversais, plantas, cortes e detalhes executivos, compondo a documentação necessária para a implantação das obras.

Embora esse modelo tenha possibilitado a execução de importantes empreendimentos ferroviários, sua estrutura está centrada na produção de documentos gráficos. Informações técnicas, quantitativos, especificações, memoriais e planilhas permanecem distribuídos entre diferentes arquivos, exigindo contínuos processos de atualização, compatibilização e conferência. Com o aumento da complexidade dos empreendimentos e da interação entre disciplinas, essas limitações tornaram-se cada vez mais evidentes.



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Paralelamente, a evolução dos modelos de contratação e gestão das obras passou a exigir maior integração entre projeto, planejamento, orçamento, cronograma executivo e acompanhamento físico-financeiro. Nesse novo contexto, o projeto deixou de atender exclusivamente às necessidades da construção, tornando-se também a principal fonte de informações para gestão contratual, fiscalização, operação e manutenção da infraestrutura.

Como resposta a essas demandas, a transformação digital vem promovendo uma mudança na forma de desenvolver projetos ferroviários. Mais do que a adoção de novas ferramentas computacionais, essa transformação fundamenta-se na estruturação das informações de engenharia em modelos digitais capazes de integrar atributos geométricos, técnicos, econômicos e gerenciais em um ambiente único e consistente.

Nesse cenário, a metodologia *Building Information Modeling* (BIM), associada à modelagem paramétrica e à automação de processos, amplia significativamente a capacidade de produção, atualização e reutilização das informações de engenharia. Os modelos digitais deixam de representar apenas a geometria da infraestrutura e passam a constituir uma base integrada de dados capaz de apoiar o desenvolvimento dos projetos, a execução das obras, o planejamento físico-financeiro e, posteriormente, a gestão dos ativos ferroviários.

A automação de processos, desenvolvida por meio de programação visual, interfaces de programação de aplicações (APIs) e linguagens como *Python*, complementa essa evolução ao permitir a criação de rotinas destinadas à geração automática de modelos, extração de quantitativos, validação de informações e padronização de procedimentos. Como



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

consequência, reduzem-se atividades repetitivas, aumentam-se a confiabilidade dos dados e a produtividade das equipes de engenharia.

Diante desse cenário, o presente artigo analisa a evolução dos processos de desenvolvimento de projetos ferroviários de VP e RAT, discutindo a transição dos fluxos tradicionais baseados em documentação bidimensional para uma abordagem fundamentada em BIM, modelagem paramétrica e automação de processos. São analisadas as limitações dos métodos convencionais, as contribuições da transformação digital para o desenvolvimento dos projetos e seus reflexos sobre planejamento, execução e gestão dos empreendimentos ferroviários.

Parte-se da premissa de que a principal contribuição da transformação digital não consiste apenas na adoção de modelos tridimensionais, mas na transformação do projeto em uma base estruturada de informações capaz de integrar engenharia, planejamento, orçamento, construção, operação e gestão dos ativos ao longo de todo o ciclo de vida da infraestrutura ferroviária.

2 DIAGNÓSTICO

A transformação digital observada atualmente na engenharia ferroviária não decorre apenas da evolução das ferramentas computacionais, mas da necessidade de responder às novas demandas de planejamento, execução e gestão dos empreendimentos. Para compreender essa evolução, é necessário analisar inicialmente as características dos processos tradicionalmente empregados no desenvolvimento dos projetos de infraestrutura



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

ferroviária, suas limitações frente às exigências atuais e os fatores que impulsionaram a adoção de metodologias fundamentadas em modelos digitais.

Durante décadas, os projetos de VP e RAT são desenvolvidos com base em processos consolidados de engenharia, apoiados em plataformas CAD e em documentação técnica bidimensional. Esse modelo foi responsável pela implantação de importantes sistemas ferroviários e metroferroviários, demonstrando elevada eficiência para o contexto tecnológico e contratual. Entretanto, a crescente complexidade dos empreendimentos passou a evidenciar limitações relacionadas principalmente à integração das informações, à compatibilização entre disciplinas e à gestão das alterações ocorridas durante o desenvolvimento dos projetos.

Paralelamente, a evolução dos modelos de contratação, dos métodos de planejamento e dos processos de controle físico-financeiro ampliou a necessidade de informações técnicas estruturadas, consistentes e permanentemente atualizadas. Nesse novo contexto, o projeto deixou de atender exclusivamente às necessidades da construção e passou a constituir a principal fonte de informações para orçamento, planejamento executivo, fiscalização, operação e gestão dos ativos ferroviários.

Dessa forma, o diagnóstico apresentado neste capítulo procura evidenciar que a transformação digital não representa apenas uma mudança tecnológica, mas uma resposta às novas exigências técnicas, gerenciais e contratuais impostas aos empreendimentos ferroviários contemporâneos.



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

2.1 ELABORAÇÃO TRADICIONAL DE PROJETOS FERROVIÁRIOS E LIMITAÇÕES

Ao longo de muitos anos, os projetos de VP e RAT são elaborados com base em metodologias fundamentadas na produção de documentação técnica bidimensional destinada à execução das obras. Utilizando plataformas CAD, as equipes de engenharia elaboram alinhamentos horizontais e verticais, perfis longitudinais, corredores, *assemblies*, plantas, cortes, detalhes construtivos e seções transversais, compondo o conjunto de documentos necessários para implantação da infraestrutura ferroviária.

Nos projetos de VP, a geometria da ferrovia é definida a partir dos alinhamentos em planta e perfil, associados às seções típicas que representam a plataforma ferroviária, as camadas estruturais, os dispositivos de drenagem e os demais componentes da infraestrutura e da superestrutura da via. De forma semelhante, os projetos de RAT são desenvolvidos por meio da representação gráfica de postes, fundações, pórticos, consoles, cabos, equipamentos de alimentação elétrica e demais elementos necessários à eletrificação da linha.

Como resultado, o projeto é constituído por um conjunto de desenhos técnicos disponibilizados, em geral, nos formatos DWG e PDF, utilizados pelas equipes responsáveis pela construção. Embora os softwares de projeto incorporem recursos capazes de apoiar o desenvolvimento geométrico, as demais informações necessárias à execução permanecem distribuídas entre memoriais descritivos, especificações técnicas, planilhas orçamentárias, listas de materiais, relatórios de quantitativos e critérios de medição, produzidos de forma independente.



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A obtenção dos quantitativos segue lógica semelhante. Em muitos empreendimentos, as quantidades de materiais e serviços são determinadas por meio da interpretação dos desenhos técnicos, da utilização de comandos específicos das plataformas CAD — como medições, consultas às propriedades dos objetos e ferramentas tais como o comando *List* do Autodesk Civil 3D — além de levantamentos complementares realizados em planilhas eletrônicas. Apesar de adequados às práticas tradicionalmente adotadas, esses procedimentos dependem de atualizações predominantemente manuais sempre que alterações são introduzidas no projeto.

A compatibilização entre disciplinas também é conduzida a partir da análise dos desenhos produzidos por cada especialidade. Interferências entre VP, RAT, drenagem, estruturas, sistemas de energia, sinalização, telecomunicações e demais disciplinas são identificadas mediante sobreposição de arquivos, revisões técnicas e reuniões de coordenação entre as equipes envolvidas. Como cada disciplina mantém sua própria documentação, modificações significativas exigem sucessivas revisões dos diferentes conjuntos de desenhos e documentos.

Esse modelo mostra-se plenamente compatível com os empreendimentos estruturados em contratos por preços unitários, nos quais a principal função do projeto consiste em representar os elementos necessários à construção e subsidiar a elaboração das medições dos serviços executados. Entretanto, à medida que os empreendimentos ferroviários passaram a incorporar maior complexidade técnica, intensificação das interfaces



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

multidisciplinares e novas exigências relacionadas ao planejamento e à gestão das obras, tornaram-se evidentes as limitações inerentes à fragmentação das informações.

Nos processos convencionais, dados geométricos, quantitativos, especificações, cronogramas e planilhas permanecem distribuídos entre diferentes documentos, exigindo contínuas atividades de conferência, compatibilização e atualização. Alterações introduzidas nos alinhamentos, perfis ou corredores repercutem sobre plantas, cortes, seções transversais, quantitativos, memoriais e planilhas, aumentando o tempo necessário para revisão dos projetos e ampliando o risco de inconsistências entre disciplinas.

Essa fragmentação também dificulta o reaproveitamento das informações nas etapas subsequentes do empreendimento. Dados produzidos durante o projeto frequentemente precisam ser reorganizados para atender às necessidades de orçamento, planejamento executivo, acompanhamento físico-financeiro, fiscalização e gestão da operação, reduzindo a produtividade das equipes e aumentando a possibilidade de divergências entre documentos.

É importante destacar que essas limitações não decorrem da capacidade técnica das equipes nem das ferramentas disponíveis, mas constituem uma consequência natural de um modelo de desenvolvimento centrado na produção de documentos independentes. À medida que os empreendimentos ferroviários passaram a exigir maior integração entre projeto, planejamento, orçamento, execução, fiscalização e operação, tornou-se evidente a necessidade de estruturar as informações de forma integrada, consistente e permanentemente atualizada.



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Observa-se, portanto, que o principal desafio da engenharia ferroviária contemporânea deixou de ser apenas a produção de documentação técnica de elevada qualidade e passou a concentrar-se na gestão integrada das informações do empreendimento. Essa mudança de paradigma constitui o principal fator motivador da transformação digital discutida nos capítulos seguintes.

2.2 MUDANÇA NO CENÁRIO DAS CONTRATAÇÕES

As transformações observadas nos processos de desenvolvimento de projetos ferroviários não decorreram exclusivamente da evolução das tecnologias de modelagem, mas também das mudanças ocorridas nos modelos de contratação e gestão dos empreendimentos públicos de infraestrutura. A crescente adoção de regimes de contratação integrada e semi-integrada, prevista na legislação brasileira, ampliou significativamente a importância das informações produzidas durante as fases de planejamento e projeto, exigindo maior consistência entre os modelos de engenharia, o orçamento, o cronograma executivo e os critérios de medição dos serviços.

Nos modelos tradicionais de contratação por preços unitários, amplamente utilizados durante décadas, o projeto executivo é desenvolvido previamente à licitação, estabelecendo de forma detalhada os quantitativos e as especificações necessárias para a contratação das obras. Nesse contexto, as medições são realizadas predominantemente com base nas quantidades efetivamente executadas em campo, tomando como referência os itens previstos nas planilhas orçamentárias. Embora esse modelo permaneça adequado para



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

diversos tipos de empreendimentos, sua estrutura concentra a maior parte do controle contratual sobre quantidades de serviços executados, mantendo relativa independência entre os processos de projeto, planejamento e gestão da execução.

A evolução da legislação brasileira sobre contratações públicas e a crescente complexidade dos empreendimentos ferroviários impulsionaram a adoção de modelos contratuais voltados à maior integração entre concepção, projeto e execução. Nos regimes de contratação integrada e semi-integrada, o planejamento das obras assume papel estratégico desde as etapas iniciais do empreendimento, exigindo que as soluções de engenharia sejam concebidas de forma compatível com a estratégia executiva, a gestão dos riscos, o controle de custos e o acompanhamento físico-financeiro.

Nesse novo contexto, a simples representação gráfica dos elementos construtivos deixa de ser suficiente para atender às necessidades da gestão contratual. Os modelos de engenharia passam a desempenhar papel central na organização das informações que subsidiam o planejamento da execução, a previsão dos investimentos, a programação das aquisições, o acompanhamento do avanço físico e a fiscalização dos serviços.

Como consequência, torna-se necessário estabelecer uma relação direta entre cada elemento projetado e os atributos que caracterizam sua execução. Além das informações geométricas, os componentes da infraestrutura passam a incorporar códigos de identificação, especificações técnicas, unidades de medição, referências normativas, quantitativos, custos



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

unitários, documentos associados e demais informações necessárias ao controle do empreendimento.

Essa evolução modifica também a forma de acompanhamento da execução das obras. Em vez de concentrar as medições exclusivamente na quantificação isolada de serviços, torna-se cada vez mais frequente a adoção de estruturas baseadas em pacotes de trabalho (*Work Packages*), que organizam as atividades construtivas em conjuntos logicamente relacionados, compatíveis com o planejamento executivo, o cronograma físico-financeiro e os marcos contratuais do empreendimento.

No contexto da gestão de projetos e da metodologia BIM, o termo pacotes de trabalho apresenta maior precisão técnica do que expressões como "pacotes de serviços", pois representa agrupamentos estruturados de atividades, recursos e entregas utilizados para planejamento, execução, controle e medição do avanço físico das obras. Essa abordagem favorece a integração entre o modelo digital, o cronograma executivo e o orçamento, permitindo que as medições reflitam não apenas quantidades executadas, mas o efetivo progresso das etapas construtivas previstas para cada fase do empreendimento.

A vinculação entre objetos digitais e pacotes de trabalho amplia significativamente a capacidade de planejamento e controle das obras. Cada elemento modelado pode ser associado à etapa construtiva correspondente, possibilitando identificar automaticamente quais componentes pertencem a determinada fase de implantação, quais quantitativos serão



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

mobilizados, quais custos estão envolvidos e quais entregas deverão ser concluídas para atendimento aos marcos previstos no cronograma.

Sob essa perspectiva, o projeto deixa de representar exclusivamente a solução técnica da infraestrutura e passa a constituir uma plataforma de integração entre engenharia, planejamento, orçamento e gestão contratual. As informações produzidas durante a modelagem tornam-se reutilizáveis em diferentes etapas do empreendimento, reduzindo retrabalhos, aumentando a confiabilidade dos dados e proporcionando maior rastreabilidade entre as decisões de projeto e sua materialização durante a execução.

Observa-se, portanto, que a evolução dos modelos de contratação modificou substancialmente o papel desempenhado pelos projetos de engenharia. A documentação bidimensional, suficiente para apoiar contratos centrados em quantitativos isolados de serviços, passou a coexistir com a necessidade de modelos digitais capazes de integrar informações técnicas, econômicas e gerenciais em uma estrutura única. Essa transformação estabelece as condições para a adoção de metodologias fundamentadas compostas por BIM, modelagem paramétrica e automação, temas desenvolvidos no capítulo seguinte.

2.3 A NECESSIDADE DA TRANSFORMAÇÃO DIGITAL

As limitações observadas nos processos convencionais de elaboração de projetos, associadas às mudanças nos modelos de contratação e às novas exigências de planejamento e gestão dos empreendimentos ferroviários, evidenciam que a transformação necessária na engenharia vai além da substituição de ferramentas computacionais. O desafio central passou



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

a consistir na estruturação das informações de projeto de forma integrada, consistente e reutilizável ao longo de todo o ciclo de vida da infraestrutura.

Nos processos tradicionais, grande parte do esforço das equipes de engenharia é direcionada à produção, atualização e compatibilização de documentos independentes. À medida que os empreendimentos aumentaram em complexidade e passaram a demandar maior integração entre projeto, orçamento, planejamento, execução, fiscalização e operação, tornou-se evidente que esse modelo já não atende plenamente às necessidades dos novos empreendimentos ferroviários.

Nesse contexto, a transformação digital representa uma mudança metodológica fundamentada na gestão estruturada da informação. O foco deixa de estar exclusivamente na produção da documentação gráfica e passa a concentrar-se na construção de modelos digitais capazes de reunir, em um ambiente integrado, informações geométricas, técnicas, construtivas, econômicas e gerenciais relacionadas aos elementos da infraestrutura.

Essa mudança amplia significativamente a capacidade de reutilização das informações produzidas durante a elaboração dos projetos. Dados anteriormente distribuídos entre desenhos, planilhas, memoriais e relatórios passam a compor uma base única de informações, permitindo que diferentes equipes utilizem o mesmo conjunto de dados para atividades de planejamento, orçamento, controle físico-financeiro, fiscalização, operação e manutenção, reduzindo retrabalhos e aumentando a confiabilidade dos processos.



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A transformação digital também modifica o papel desempenhado pelos profissionais de engenharia. Atividades repetitivas relacionadas à atualização de documentos, consolidação de quantitativos, conferências sucessivas e compatibilizações manuais tendem a ser gradativamente substituídas por processos automatizados, permitindo que as equipes concentrem seus esforços na análise técnica, na avaliação de alternativas de projeto e na tomada de decisões de maior valor agregado.

Essa evolução não elimina a importância da documentação técnica tradicional. Plantas, perfis, cortes, detalhes executivos e demais documentos continuam sendo fundamentais para a implantação das obras e permanecem como parte integrante das entregas de engenharia. A diferença consiste no fato de que esses documentos deixam de representar a principal fonte de informação do empreendimento, passando a ser derivados de modelos digitais estruturados, capazes de manter a consistência entre representação gráfica e informações técnicas associadas.

Nesse contexto, a transformação digital constitui uma evolução natural dos processos de engenharia ferroviária. Não se trata de substituir metodologias consolidadas, mas de ampliar sua capacidade de responder às demandas atuais de integração, rastreabilidade, produtividade e gestão da informação. Os conhecimentos acumulados pelas equipes de projeto permanecem essenciais; o que se modifica é a forma como essas informações são organizadas, compartilhadas e utilizadas ao longo das diferentes fases do empreendimento.



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Observa-se, portanto, que a necessidade de transformação digital resulta da convergência entre fatores tecnológicos, gerenciais e contratuais. A crescente complexidade dos empreendimentos, a evolução dos modelos de contratação, a integração entre planejamento e execução e a busca por maior eficiência na gestão dos ativos ferroviários criaram um ambiente no qual a informação passou a assumir papel estratégico para o sucesso dos projetos.

É nesse cenário que se inserem a metodologia BIM, a modelagem paramétrica e a automação de processos. Mais do que novas ferramentas de projeto, essas abordagens constituem uma nova forma de produzir, organizar e utilizar informações de engenharia, estabelecendo as bases para modelos digitais integrados capazes de acompanhar os empreendimentos ferroviários desde sua concepção até as fases de operação, manutenção e gestão dos ativos. A análise dessas tecnologias e de suas aplicações na engenharia ferroviária é apresentada no capítulo seguinte.

3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A transformação digital observada nos projetos ferroviários transcende a incorporação de novas ferramentas computacionais ao processo de desenvolvimento dos projetos. Seus principais resultados decorrem da mudança na forma como as informações de engenharia são produzidas, organizadas, compartilhadas e reutilizadas ao longo de todo o ciclo de vida dos empreendimentos.



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Enquanto os processos convencionais concentram seus esforços na produção de documentação gráfica destinada à execução das obras, os fluxos de trabalho fundamentados em BIM, modelagem paramétrica e automação passam a estruturar o projeto como uma base integrada de informações, capaz de atender simultaneamente às necessidades de projeto, planejamento, orçamento, execução, fiscalização, operação e gestão patrimonial.

Essa mudança amplia significativamente o potencial de utilização das informações produzidas pelas equipes de engenharia. Os modelos deixam de representar apenas a geometria da infraestrutura e passam a incorporar atributos técnicos, construtivos, econômicos e gerenciais diretamente associados aos elementos modelados, permitindo que diferentes processos utilizem uma mesma fonte de dados de forma consistente e continuamente atualizada.

Os resultados observados nessa transformação são analisados a seguir.

3.1 DA DOCUMENTAÇÃO AO MODELO DE INFORMAÇÃO

Durante muitos anos, o principal produto dos projetos ferroviários tem sido a documentação técnica composta por plantas, perfis, cortes, detalhes executivos e seções transversais. Embora esses documentos permaneçam essenciais para a implantação da infraestrutura, sua função limita-se à representação gráfica das soluções de engenharia, exigindo que informações complementares sejam organizadas em memoriais, especificações técnicas, planilhas orçamentárias, listas de materiais e diversos outros documentos produzidos separadamente.



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A adoção da metodologia BIM modifica esse paradigma ao substituir um processo centrado em documentos independentes por uma abordagem fundamentada em modelos digitais integrados. Nesse novo contexto, os desenhos deixam de constituir a origem das informações do empreendimento e passam a ser derivados de um modelo único, estruturado para concentrar dados geométricos, técnicos, documentais e gerenciais.

Essa mudança representa uma evolução conceitual significativa. Enquanto um desenho tradicional descreve apenas a forma e a localização dos elementos construtivos, um modelo BIM associa cada componente da infraestrutura a um conjunto de atributos que caracterizam suas propriedades físicas, funcionais e administrativas. Dessa forma, cada objeto modelado deixa de ser apenas uma representação gráfica para tornar-se uma entidade de informação capaz de participar de diferentes processos de engenharia.

Nos projetos ferroviários, essa abordagem permite que elementos como trilhos, dormentes, Aparelhos de Mudança de Via (AMVs), postes, fundações, consoles, pórticos, cabos, isoladores, equipamentos de alimentação elétrica e demais componentes da VP e da RAT passem a incorporar informações relacionadas à sua identificação, especificação técnica, unidade de medição, quantitativos, documentação de referência, composição de custos e demais atributos necessários às diferentes fases do empreendimento.

Essa estrutura amplia significativamente a rastreabilidade das informações. Uma alteração realizada durante o desenvolvimento do projeto deixa de afetar apenas sua representação gráfica e passa a atualizar, de forma coordenada, todos os dados associados



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

aos objetos modificados, reduzindo inconsistências entre desenhos, quantitativos, memoriais e demais documentos derivados do modelo.

Outro aspecto relevante refere-se à integração entre disciplinas. Como todas as especialidades passam a desenvolver seus projetos sobre modelos digitais estruturados, torna-se possível identificar interferências físicas, conflitos geométricos e incompatibilidades entre sistemas ainda durante as fases de projeto, reduzindo retrabalhos e aumentando a confiabilidade das soluções de engenharia antes do início da execução das obras.

A Figura 1 apresenta imagens de projetos elaborados na metodologia tradicional.

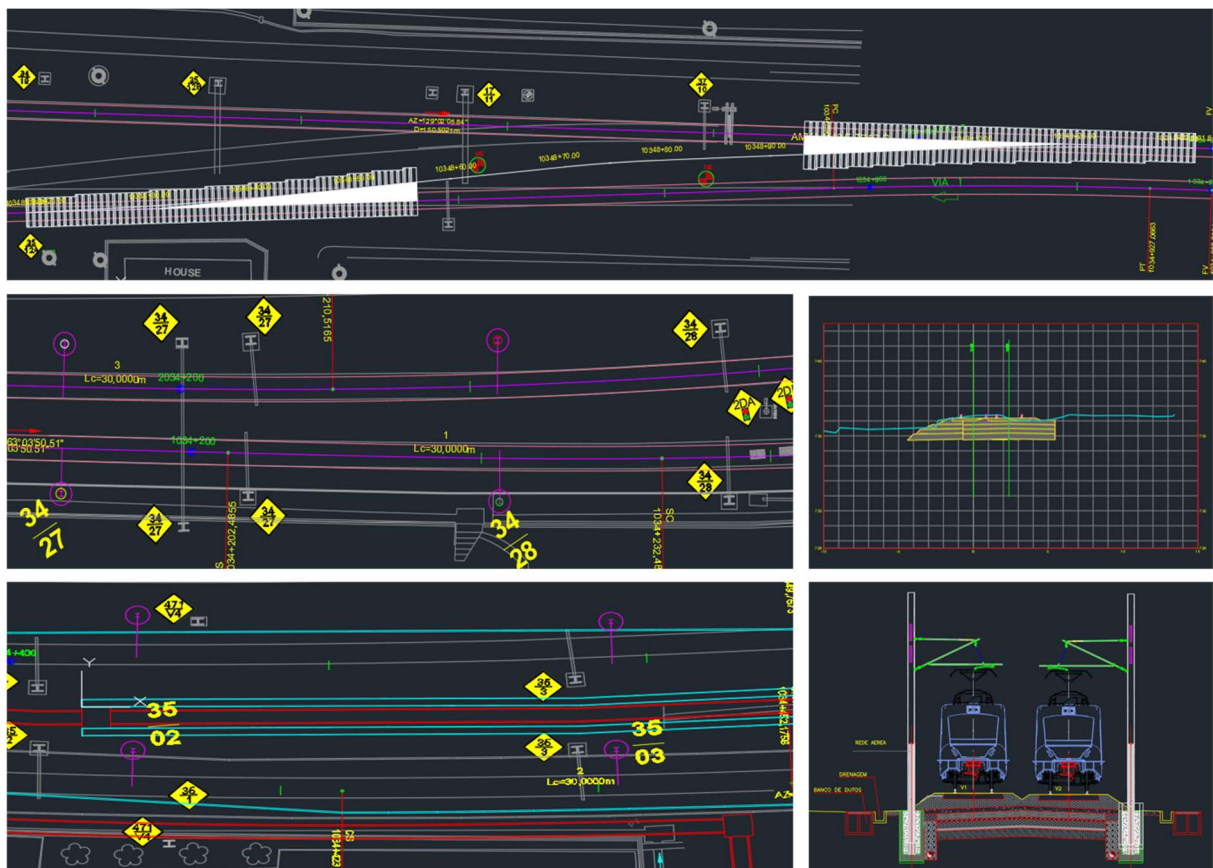


Figura 1 – Metodologia tradicional e a representação dos elementos de projetos



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A Figura 2 apresenta imagens de projetos elaborados por meio da metodologia atual, que combina modelagem paramétrica, BIM e automação de processos.

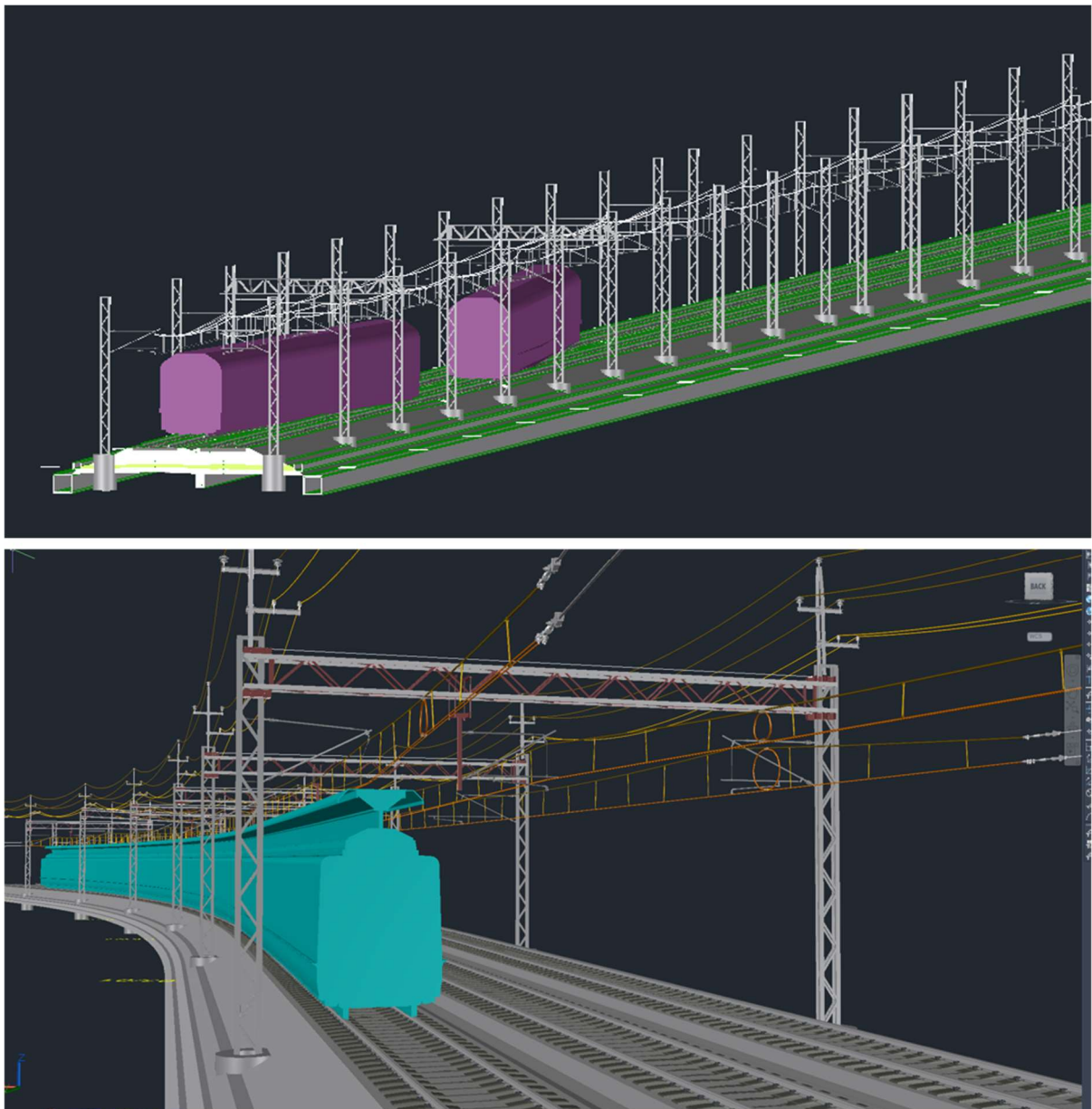


Figura 2 – Modelos paramétricos e a representação dos elementos de projetos

A Figura 3 apresenta uma imagem com representação tridimensional de um projeto de infraestrutura ferroviária, composto por elementos de VP e RAT.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

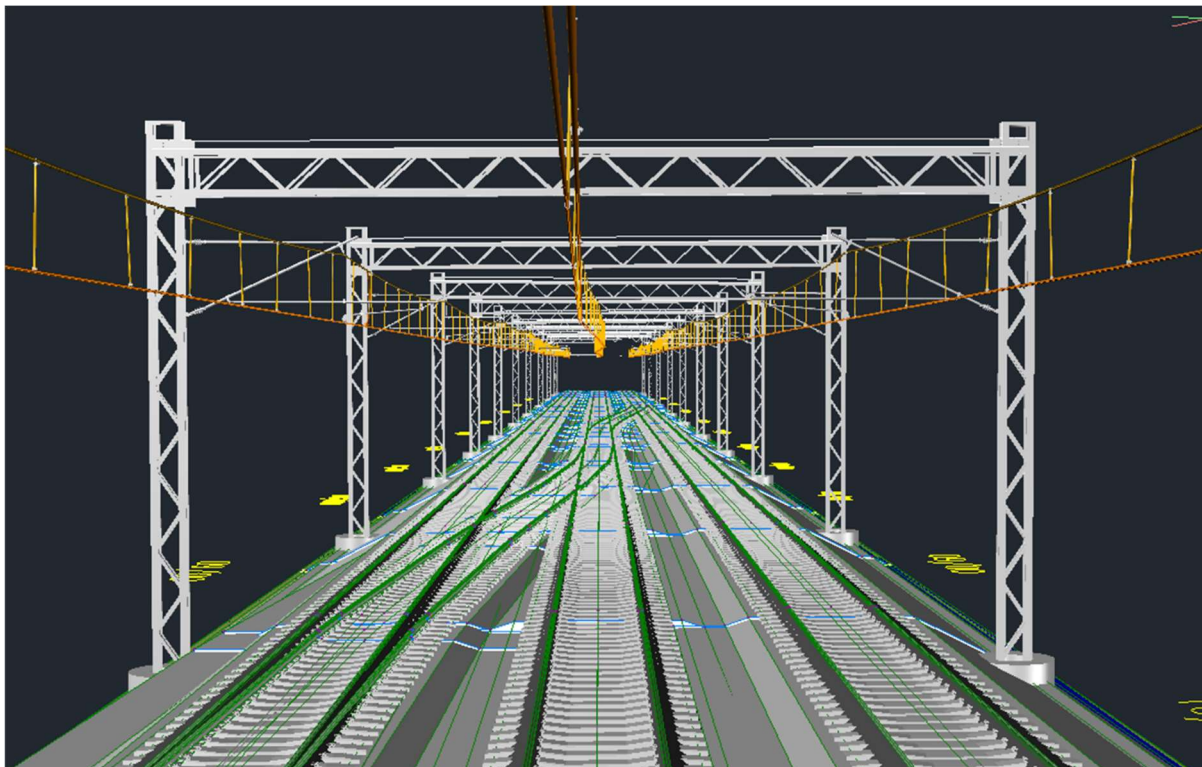


Figura 3 – Representação tridimensional de um projeto de infraestrutura ferroviária

A evolução observada não elimina a importância da documentação técnica tradicional. Plantas, perfis, cortes, detalhes executivos e seções transversais continuam sendo indispensáveis para a implantação da infraestrutura e permanecem como documentos oficiais do projeto. Entretanto, sua produção passa a ocorrer de forma coordenada a partir do modelo digital, assegurando maior consistência entre as informações representadas e reduzindo o esforço necessário para atualização da documentação diante de revisões de projeto.

Junto a isso, o principal resultado da adoção do BIM não reside apenas na obtenção de modelos tridimensionais mais elaborados, mas na transformação do projeto em uma base estruturada de informações capaz de atender simultaneamente às necessidades das diversas fases do empreendimento. O modelo deixa de representar exclusivamente a infraestrutura



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

ferroviária e passa a representar também o conhecimento técnico produzido durante sua concepção, tornando-se um ativo digital estratégico para planejamento, execução, operação e gestão patrimonial.

Essa mudança estabelece as bases para a modelagem paramétrica, apresentada no item seguinte. Ao estruturar os elementos da infraestrutura como objetos dotados de propriedades e relacionamentos, cria-se um ambiente no qual as alterações deixam de ser tratadas apenas como modificações geométricas e passam a produzir atualizações coordenadas em todo o conjunto de informações do empreendimento.

3.2 A CONTRIBUIÇÃO DA MODELAGEM PARAMÉTRICA

A evolução dos modelos digitais estruturados estabelece as condições para a utilização da modelagem paramétrica como um dos principais elementos da transformação digital na engenharia ferroviária. Diferentemente dos processos convencionais, nos quais as alterações geométricas são realizadas predominantemente de forma manual, a modelagem paramétrica organiza os componentes da infraestrutura por meio de relações lógicas e atributos técnicos que controlam seu comportamento ao longo do desenvolvimento do projeto.

Nos projetos ferroviários, essa abordagem apresenta especial relevância devido à elevada interdependência entre os diversos elementos da infraestrutura. Alterações nos alinhamentos horizontal ou vertical repercutem automaticamente sobre perfis longitudinais, corredores, seções transversais, plataformas ferroviárias, dispositivos de drenagem,



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

fundações, postes da RAT e demais componentes relacionados, reduzindo significativamente o retrabalho decorrente das revisões de projeto.

Em softwares como o Autodesk Civil 3D, a parametrização já está presente em alinhamentos, perfis, *assemblies*, corredores e superfícies. Entretanto, sua aplicação amplia-se ao incorporar parâmetros também aos elementos específicos da infraestrutura ferroviária, permitindo que componentes de VP e RAT sejam modelados como objetos digitais configuráveis, contendo não apenas informações geométricas, mas também atributos técnicos, construtivos e gerenciais.

Dessa maneira, trilhos, dormentes, AMVs, postes, pórticos, consoles, cabos, fundações e demais componentes passam a armazenar, em um único objeto, informações relativas às suas dimensões, materiais, especificações técnicas, critérios normativos, unidades de medição, quantitativos e códigos de identificação, proporcionando maior padronização, rastreabilidade e consistência das informações ao longo de todo o empreendimento.

A parametrização também favorece a padronização dos projetos ao estabelecer famílias de objetos baseadas em critérios previamente definidos, reduzindo variações entre equipes, uniformizando a representação dos elementos e facilitando a aplicação de normas técnicas e padrões corporativos.

Outro benefício refere-se à consistência das informações. Como os atributos permanecem vinculados aos objetos modelados, alterações realizadas durante o desenvolvimento do projeto são refletidas automaticamente nos documentos derivados do



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

modelo, reduzindo inconsistências entre desenhos, quantitativos e demais produtos técnicos, além de ampliar a confiabilidade das informações utilizadas pelas equipes de planejamento, orçamento, fiscalização e execução.

Sob a perspectiva da gestão do empreendimento, a modelagem paramétrica permite associar aos objetos, informações que vão além de sua geometria, como especificações técnicas, documentos de referência, critérios de inspeção, composições de custos, unidades de medição, fases construtivas e requisitos de manutenção. Assim, o modelo passa a integrar informações de engenharia, planejamento, orçamento, execução e operação, tornando o projeto mais consistente, rastreável e aderente aos novos modelos de contratação e gestão.

O potencial da modelagem paramétrica amplia-se quando associado à automação de processos. A utilização de rotinas computacionais para criação de objetos, validação de informações, extração de quantitativos e automatização de tarefas repetitivas expande as capacidades dos modelos digitais e constitui um dos principais fatores da transformação digital na engenharia ferroviária, tema abordado no item seguinte.

A Figura 4 apresenta elementos de projetos e seus atributos no software nativo Autodesk Civil 3D. A imagem vista à esquerda contém informações referentes a um dormente de concreto e a imagem vista à direita contém informações sobre o fornecimento e instalação de um poste de RAT. Os atributos disponíveis nos elementos são “Disciplina”, “Documentos de referência”, possibilidades para preenchimento de datas de manutenções efetuadas, “Unidade Construtiva”, “Pacote de trabalho” e informações para estimativas orçamentárias.



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

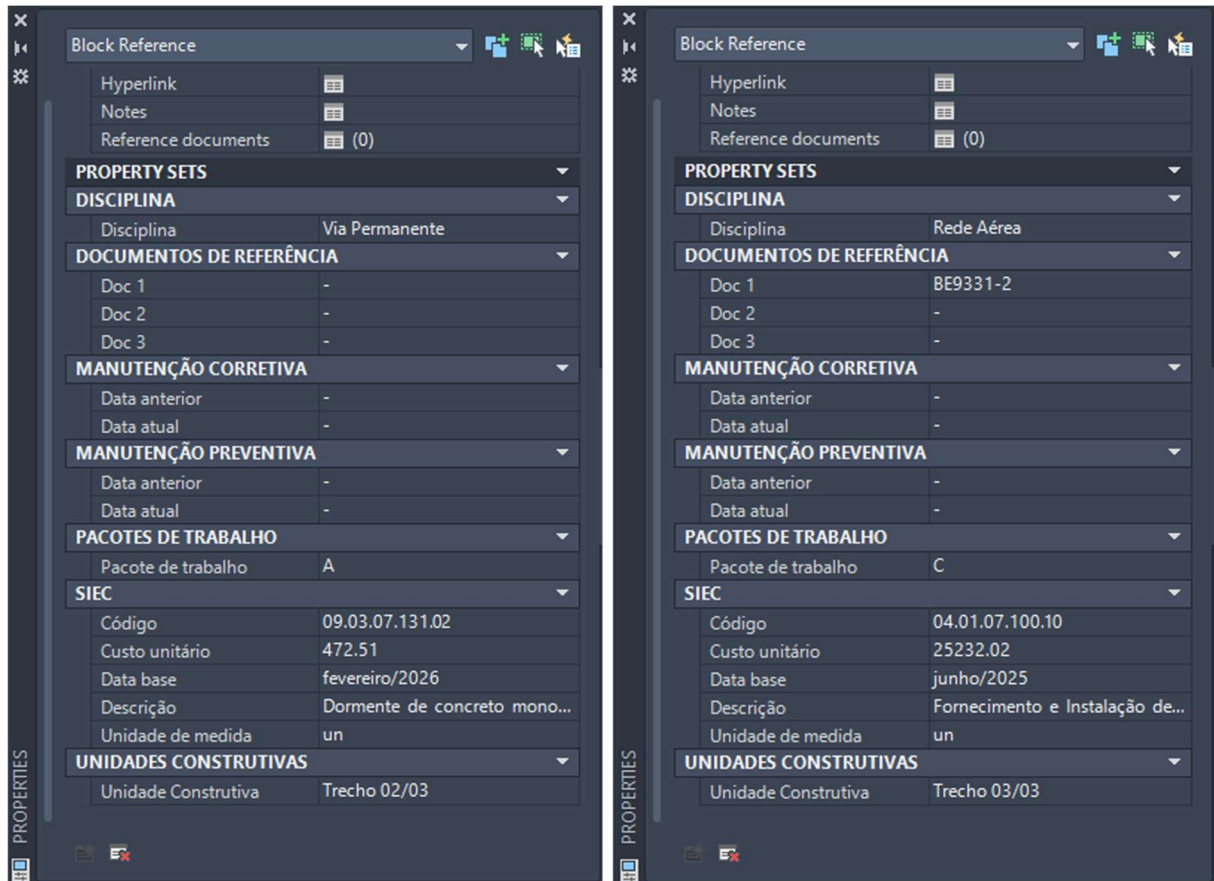


Figura 4 – Elementos de projetos e seus atributos no software nativo

A seguir, nas Figuras 5 e 6, os elementos de projetos (dormente e poste) são apresentados novamente com seus atributos, porém agora representados em um modelo IFC (*Industry Foundation Classes*) exportado a partir do software nativo Autodesk Civil 3D. O IFC é um formato de arquivo aberto e padronizado, criado para permitir a troca de informações em projetos BIM levando-se em consideração os diferentes softwares de engenharia e arquitetura existentes no mercado, possibilitando que estes softwares “conversem” entre si e garantam a interoperabilidade sem perda de dados; informações.



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

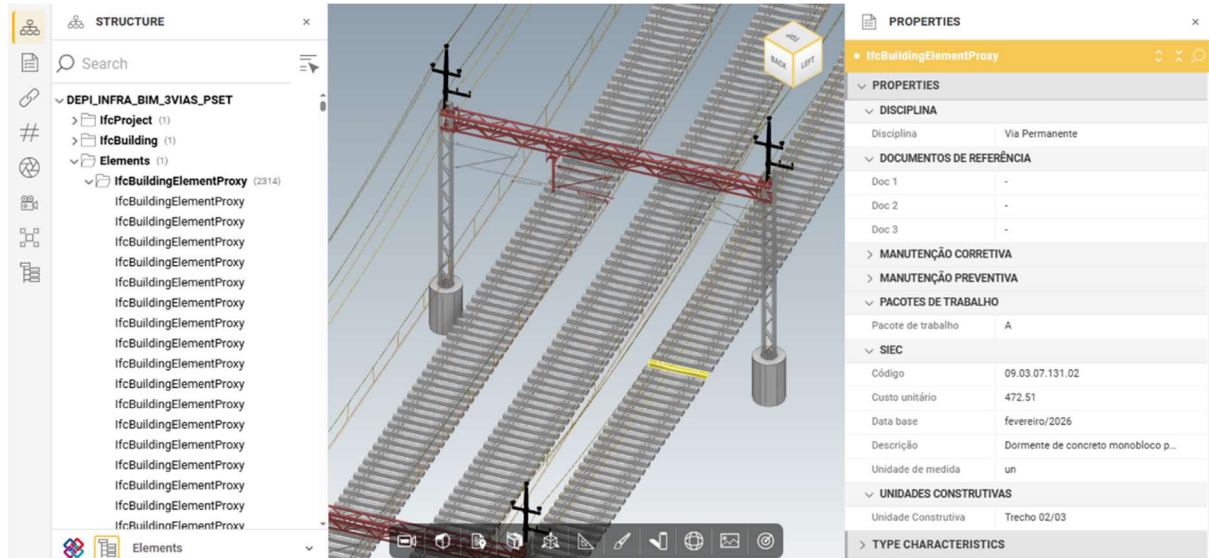


Figura 5 – Dormente de concreto e seus atributos em um modelo IFC

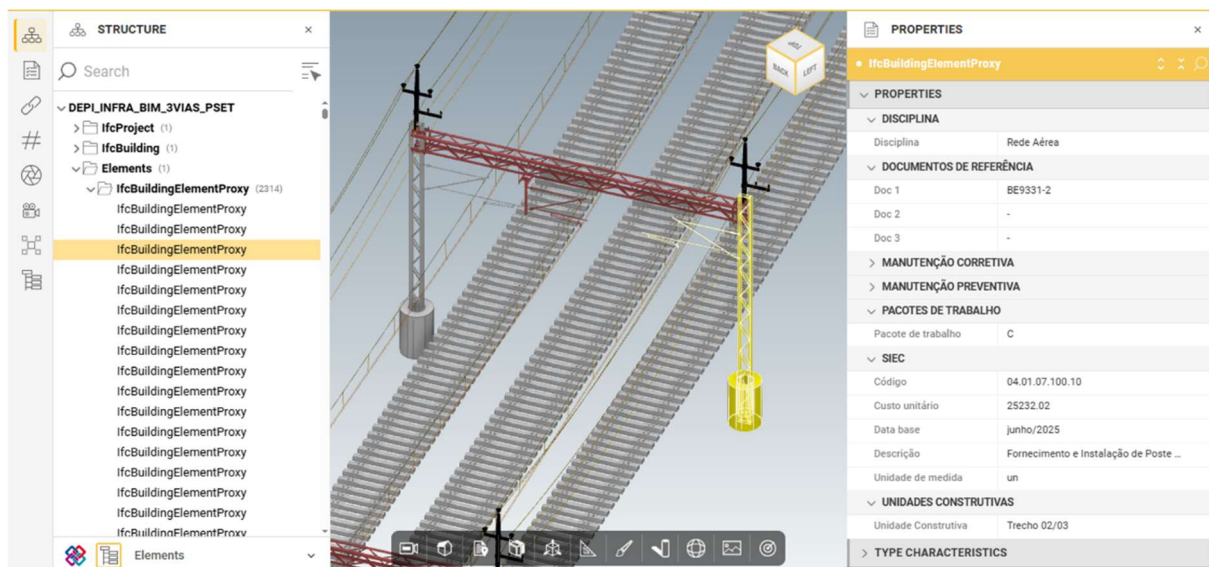


Figura 6 – Poste de Rede Aérea de Tração e seus atributos em um modelo IFC

3.3 AUTOMAÇÃO DOS PROCESSOS DE ENGENHARIA

A consolidação dos modelos digitais estruturados e da modelagem paramétrica cria as condições para um novo estágio da transformação digital na engenharia ferroviária: a automação dos processos de projeto. Enquanto a modelagem paramétrica estabelece



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

relações inteligentes entre os elementos da infraestrutura, a automação amplia sua capacidade ao executar tarefas repetitivas, padronizar procedimentos e integrar informações ao longo do desenvolvimento dos empreendimentos.

Nos processos convencionais, grande parte das atividades das equipes de projeto envolve operações repetitivas, como criação de elementos, atualização de desenhos, conferência de informações, reorganização de planilhas, extração de quantitativos e verificação de critérios técnicos. Embora essenciais, essas tarefas consomem tempo significativo e estão sujeitas às variações inerentes à execução manual.

A automação modifica esse cenário ao permitir que atividades baseadas em regras previamente definidas sejam executadas por rotinas computacionais, reduzindo intervenções manuais e aumentando a padronização, a rapidez e a confiabilidade dos processos.

Na engenharia ferroviária, essa abordagem apresenta especial relevância devido à grande quantidade de elementos repetitivos distribuídos ao longo dos empreendimentos lineares. Componentes de VP e RAT são implantados segundo critérios geométricos, operacionais e normativos bem definidos, tornando-se particularmente adequados à automação da modelagem e da validação.

A utilização de plataformas de programação visual, como o *Dynamo*, associadas às interfaces de programação (APIs) das plataformas BIM e a linguagens como *Python*, permite desenvolver rotinas para criação parametrizada de objetos, validação de atributos,



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

organização de bibliotecas, extração automática de quantitativos, verificação de padrões corporativos e consolidação de informações destinadas ao planejamento e ao orçamento.

Nos projetos ferroviários, essas rotinas podem ser aplicadas à distribuição parametrizada de componentes, à geração de elementos associados aos alinhamentos e perfis, à atualização coordenada de atributos, à identificação de interferências entre disciplinas e à consolidação automática de relatórios e planilhas. Como consequência, atividades que anteriormente demandavam longos períodos de execução manual passam a ser realizadas em poucos minutos, mantendo critérios uniformes de processamento independentemente da dimensão do empreendimento.

A Figura 7 apresenta uma imagem de uma das rotinas elaboradas em programação visual para a modelagem de elementos tridimensionais nos projetos de VP e RAT.

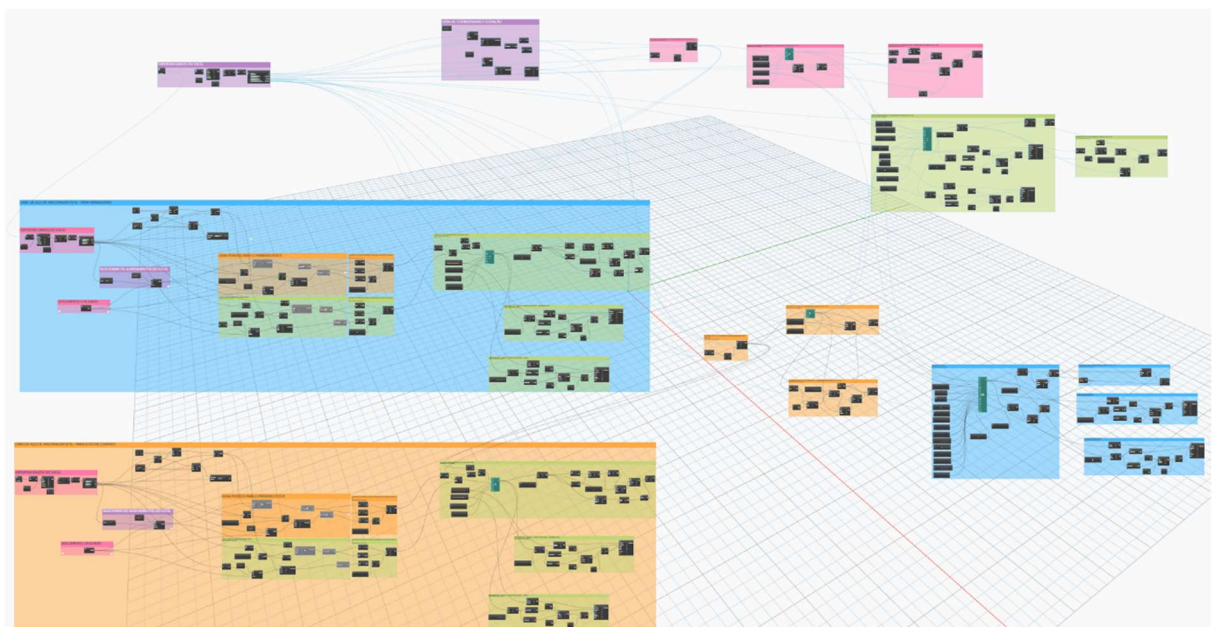


Figura 7 – Rotina Dynamo de programação visual para automação de processos



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Entretanto, o principal benefício da automação não está apenas na redução do tempo de desenvolvimento. Seu maior potencial consiste em transformar procedimentos técnicos consolidados em processos computacionais reutilizáveis, incorporando o conhecimento das equipes de engenharia diretamente aos fluxos de trabalho. Critérios de modelagem, verificações normativas, métodos de cálculo, padrões de nomenclatura e regras corporativas passam a integrar rotinas padronizadas, reutilizáveis em diferentes empreendimentos.

Essa abordagem amplia a governança das informações produzidas durante o desenvolvimento dos projetos. A execução padronizada das rotinas reduz a variabilidade entre equipes, aumenta a uniformidade dos modelos digitais, fortalece a rastreabilidade das decisões de engenharia e permite que alterações em critérios técnicos sejam propagadas de forma consistente para todos os projetos que utilizam os mesmos processos automatizados.

Outro aspecto relevante é a integração entre automação e modelagem paramétrica. Alterações nos parâmetros dos modelos atualizam automaticamente objetos, quantitativos, atributos, relatórios e documentos derivados, reduzindo o retrabalho e aumentando a confiabilidade das revisões de projeto.

Referente à gestão dos empreendimentos, a automação fortalece a integração entre projeto, planejamento e orçamento. A extração automática de quantitativos diretamente dos objetos modelados reduz inconsistências entre representação gráfica e documentação quantitativa, proporcionando maior segurança na elaboração de estimativas de custos, cronogramas executivos e controles físico-financeiros.



Prêmio
Tecnologia &
Desenvolvimento
Metroferroviários



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

A automação não substitui a atividade intelectual do projetista; ao contrário, transfere aos sistemas computacionais as tarefas repetitivas e baseadas em regras, permitindo que os profissionais concentrem seus esforços na análise crítica, na avaliação de alternativas e na tomada de decisões estratégicas. Assim, associada ao BIM e à modelagem paramétrica, consolida-se como um elemento estruturante da transformação digital, ampliando a qualidade, a produtividade e a confiabilidade dos projetos e estabelecendo as bases para a integração das informações ao longo do ciclo de vida dos ativos ferroviários.

A Figura 8 apresenta a imagem de uma planilha extraída de um modelo paramétrico utilizando-se uma das rotinas elaboradas em programação visual; o principal uso BIM nesse caso é a estimativa orçamentária.

Código	Descrição	Unidade	Custo unitário (R\$)	Data base	Quantidade	Custo total (R\$)
09.03.07.131.02	Dormente de concreto monobloco protendido (comprimento 2,80m) para trilho UIC 60, bitola 1.600mm - manutenção	un	R\$ 472,51	fevereiro/2026	1023,00	R\$ 483.377,73
04.01.07.100.10	Fornecimento e Instalação de Poste Metálico Treliçado de 12 m, para suspensão de rede aérea de tração em 3 KVCC, conforme Desenho CPTM BE9331-2	un	R\$ 25.232,02	junho/2025	17,00	R\$ 428.944,34
04.01.01.100.11	Treliça metálica para 3 vias	un	R\$ 23.431,67	fevereiro/2026	6,00	R\$ 140.590,02
04.01.01.100.45	Peças de material não ferroso (conectores, crosby, garras, esticadores, grampos paralelos, emendas e terminais)	kg	R\$ 208,79	junho/2025	111,15	R\$ 23.207,01
04.01.01.120.14	Cabo de aço galvanizado diâmetro 9/16", para encabeçamentos	m	R\$ 28,41	fevereiro/2026	308,46	R\$ 8.763,27
04.01.01.120.08	Cabo de cobre isolado, seção de 120 mm², classe 35kV, EPR/SHF1 (somente fornecimento)	m	R\$ 225,89	junho/2025	1383,23	R\$ 312.456,71
04.01.01.120.06	Cabo de cobre isolado, seção de 70 mm², classe 8,7/15kV, EPR/SHF1 (somente fornecimento)	m	R\$ 103,43	junho/2025	922,30	R\$ 95.393,73
04.01.01.120.04	Cabo de cobre nu temperatura mole flexível 185mm² de seção para conexões equipotenciais, de continuidade, ligação de para-raios, etc.	m	R\$ 159,95	junho/2025	76,01	R\$ 12.157,99
04.01.01.120.01	Cabo de cobre nu temperatura dura 253mm² de seção	m	R\$ 393,31	fevereiro/2026	759,69	R\$ 298.791,91
04.01.01.120.13	Fio de cobre temperatura médio dura 35 mm² de seção (suspensório)	m	R\$ 43,58	fevereiro/2026	162,42	R\$ 7.078,16
04.01.01.120.12	Fio de cobre temperatura dura 180mm² de seção (trolley)	m	R\$ 149,71	junho/2025	1060,95	R\$ 158.834,46

Figura 8 – Planilha extraída do modelo paramétrico para estimativa orçamentária

3.4 INTEGRAÇÃO DAS INFORMAÇÕES AO CICLO DE VIDA DOS ATIVOS

Os resultados apresentados demonstram que a principal contribuição da transformação digital não reside apenas na modernização dos processos de projeto, mas na integração das informações ao longo de todo o ciclo de vida do empreendimento. Ao substituir documentos independentes por modelos digitais estruturados, as informações



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

produzidas durante o projeto passam a apoiar também a construção, a operação e a gestão dos ativos ferroviários.

Nos processos convencionais, cada etapa do empreendimento produzia sua própria documentação. Informações geradas durante o projeto eram sucessivamente reorganizadas para orçamento, planejamento executivo, medições de obra e operação, aumentando o retrabalho, reduzindo a rastreabilidade e favorecendo inconsistências entre as diferentes fases do empreendimento.

Os modelos digitais estruturados modificam esse fluxo ao estabelecer uma fonte única e consistente de informações. Os atributos associados aos objetos passam a atender não apenas ao projeto, mas também ao planejamento, orçamento, suprimentos, acompanhamento físico-financeiro, fiscalização, comissionamento, operação, manutenção e futuras intervenções na infraestrutura.

Como consequência, componentes da VP e da RAT concentram, em um único ambiente digital, informações geométricas, especificações técnicas, quantitativos, unidades de medição, composições de custos, fases construtivas, requisitos de inspeção e manutenção, permitindo que projetistas, planejadores, orçamentistas, fiscais, gestores da construção e equipes de operação compartilhem uma mesma base de dados, reduzindo divergências, retrabalhos e duplicidade de registros.

A integração entre modelos digitais, planejamento executivo e orçamento também fortalece o acompanhamento físico-financeiro dos empreendimentos. A associação entre



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

objetos modelados, cronogramas de execução e pacotes de trabalho permite acompanhar o avanço das obras de forma estruturada, proporcionando maior confiabilidade às medições contratuais, à identificação de desvios de planejamento e à gestão dos contratos de infraestrutura.

A Figura 9 apresenta a imagem de uma planilha extraída de um modelo paramétrico para possível utilização em um planejamento 4D, com códigos e descrições dos elementos, além de informações sobre as Unidades Construtivas e os Pacotes de trabalho aos quais os elementos pertencem.

Código do Elemento	Descrição do Elemento	Unidade Construtiva	Pacote de trabalho
2A3764	Dormente de concreto monobloco protendido (comprimento 2,80m) para trilho UIC 60, bitola 1.600mm - manutenção	Trecho 01/03	A
2A3849	Dormente de concreto monobloco protendido (comprimento 2,80m) para trilho UIC 60, bitola 1.600mm - manutenção	Trecho 02/03	A
2A3853	Dormente de concreto monobloco protendido (comprimento 2,80m) para trilho UIC 60, bitola 1.600mm - manutenção	Trecho 03/03	A
2A374C	Fornecimento e Instalação de Poste Metálico Trelçado de 12 m, para suspensão de rede aérea de tração em 3 KVCC, conforme Desenho CPTM BE9331-2	Trecho 01/03	C
2A374D	Fornecimento e Instalação de Poste Metálico Trelçado de 12 m, para suspensão de rede aérea de tração em 3 KVCC, conforme Desenho CPTM BE9331-2	Trecho 02/03	C
2A3750	Fornecimento e Instalação de Poste Metálico Trelçado de 12 m, para suspensão de rede aérea de tração em 3 KVCC, conforme Desenho CPTM BE9331-2	Trecho 03/03	C
2A98DE	Treliça metálica para 3 vias	Trecho 01/03	B
2A98E3	Treliça metálica para 3 vias	Trecho 02/03	B
2A374F	Treliça metálica para 3 vias	Trecho 03/03	B
2DB1FF	Pecas de material não ferroso (conectores, crosby, garras, esticadores, grampos paralelos, emendas e terminais)	Trecho 01/03	E
2DF069	Pecas de material não ferroso (conectores, crosby, garras, esticadores, grampos paralelos, emendas e terminais)	Trecho 03/03	E
2DABCF	Cabo de aço galvanizado diâmetro 9/16", para encabeçamentos	Trecho 01/03	E
2D5E06	Cabo de cobre isolado, seção de 120 mm², classe 35kV, EPR/SHF1 (somente fornecimento)	Trecho 02/03	F
2DAAB3	Cabo de cobre isolado, seção de 70 mm², classe 8,7/15kV, EPR/SHF1 (somente fornecimento)	Trecho 03/03	F
2DE70A	Cabo de cobre nu tempera mole flexível 185mm² de seção para conexões equipotenciais, de continuidade, ligação de para-raios, etc.	Trecho 02/03	E
2DE716	Cabo de cobre nu tempera dura 253mm² de seção	Trecho 01/03	E
2DE7EB	Fio de cobre tempera médio dura 35 mm² de seção (suspensório)	Trecho 02/03	E

Figura 9 – Planilha extraída do modelo paramétrico para planejamento 4D

Outro aspecto relevante refere-se à gestão dos ativos após a conclusão das obras. As informações produzidas durante o desenvolvimento dos projetos deixam de representar apenas registros históricos da fase de implantação e passam a constituir uma base permanente de conhecimento sobre a infraestrutura construída. Dados relativos às características dos componentes, documentação técnica, histórico de revisões, critérios de



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

inspeção, intervenções realizadas e requisitos de manutenção podem permanecer associados aos objetos digitais, apoiando as atividades desenvolvidas pelas equipes responsáveis pela operação ferroviária.

Essa continuidade das informações cria condições para aplicações cada vez mais avançadas de gestão digital dos ativos. À medida que os modelos passam a incorporar informações provenientes da construção, das inspeções, do monitoramento operacional e das atividades de manutenção, estabelece-se um ambiente favorável à implantação gradual de gêmeos digitais (*Digital Twins*), capazes de representar de forma dinâmica o comportamento da infraestrutura ao longo de sua vida útil.

A Figura 10 apresenta a imagem de uma planilha extraída de um modelo paramétrico para possível utilização em um controle de manutenção, com códigos e descrições dos elementos, além de datas anteriores e atuais de manutenções corretivas e preventivas.

Código do Elemento	Descrição do Elemento	Manutenção corretiva		Manutenção preventiva	
		Data anterior	Data atual	Data anterior	Data atual
2DF0BE	Peças de material não ferroso (conectores, crosby, garras, esticadores, grampos paralelos, emendas e terminais)	12/05/2022	24/03/2026	-	-
2DF0BF	Peças de material não ferroso (conectores, crosby, garras, esticadores, grampos paralelos, emendas e terminais)	12/05/2022	24/03/2026	-	-
2DF0C0	Peças de material não ferroso (conectores, crosby, garras, esticadores, grampos paralelos, emendas e terminais)	12/05/2022	24/03/2026	-	-
2DF0C1	Peças de material não ferroso (conectores, crosby, garras, esticadores, grampos paralelos, emendas e terminais)	12/05/2022	24/03/2026	-	-
2DF0C2	Peças de material não ferroso (conectores, crosby, garras, esticadores, grampos paralelos, emendas e terminais)	12/05/2022	24/03/2026	-	-
2DF0C3	Peças de material não ferroso (conectores, crosby, garras, esticadores, grampos paralelos, emendas e terminais)	12/05/2022	24/03/2026	-	-
2DF0C4	Peças de material não ferroso (conectores, crosby, garras, esticadores, grampos paralelos, emendas e terminais)	12/05/2022	24/03/2026	-	-
2DF0C5	Peças de material não ferroso (conectores, crosby, garras, esticadores, grampos paralelos, emendas e terminais)	12/05/2022	24/03/2026	-	-
2DF0C6	Peças de material não ferroso (conectores, crosby, garras, esticadores, grampos paralelos, emendas e terminais)	-	-	10/06/2026	25/06/2026
2DF0C7	Peças de material não ferroso (conectores, crosby, garras, esticadores, grampos paralelos, emendas e terminais)	-	-	10/06/2026	25/06/2026
2DF0C8	Peças de material não ferroso (conectores, crosby, garras, esticadores, grampos paralelos, emendas e terminais)	-	-	10/06/2026	25/06/2026
2DF0C9	Peças de material não ferroso (conectores, crosby, garras, esticadores, grampos paralelos, emendas e terminais)	-	-	10/06/2026	25/06/2026
2DF0CA	Peças de material não ferroso (conectores, crosby, garras, esticadores, grampos paralelos, emendas e terminais)	-	-	10/06/2026	25/06/2026
2DF0CB	Peças de material não ferroso (conectores, crosby, garras, esticadores, grampos paralelos, emendas e terminais)	-	-	10/06/2026	25/06/2026
2DF0CC	Peças de material não ferroso (conectores, crosby, garras, esticadores, grampos paralelos, emendas e terminais)	-	-	10/06/2026	25/06/2026
2DF0CD	Peças de material não ferroso (conectores, crosby, garras, esticadores, grampos paralelos, emendas e terminais)	-	-	10/06/2026	25/06/2026
2DF0CE	Peças de material não ferroso (conectores, crosby, garras, esticadores, grampos paralelos, emendas e terminais)	-	-	10/06/2026	25/06/2026
2DF0CF	Peças de material não ferroso (conectores, crosby, garras, esticadores, grampos paralelos, emendas e terminais)	-	-	10/06/2026	25/06/2026

Figura 10 – Planilha extraída do modelo paramétrico para controle de manutenção

Entretanto, é importante destacar que o gêmeo digital não constitui um produto obtido automaticamente a partir da modelagem tridimensional. Sua implementação depende



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

da existência de modelos digitais estruturados, informações confiáveis, processos padronizados de atualização de dados e integração entre os diversos sistemas utilizados durante projeto, construção, operação e manutenção. Sob essa ótica, BIM, modelagem paramétrica e automação representam os fundamentos tecnológicos e metodológicos que tornam possível a evolução futura para ambientes de *Digital Twin*.

Os resultados observados demonstram, portanto, que a transformação digital modifica profundamente o papel desempenhado pelos projetos de engenharia ferroviária. O projeto deixa de ser compreendido como um conjunto de documentos destinados exclusivamente à execução das obras e passa a constituir uma infraestrutura digital de informações capaz de integrar diferentes processos de engenharia ao longo de todo o ciclo de vida do empreendimento. Mais do que produzir modelos tridimensionais, a transformação digital permite estruturar conhecimento, apoiar decisões técnicas, reduzir retrabalhos, aumentar a confiabilidade das informações e criar as bases para uma gestão integrada e contínua dos ativos ferroviários.

Essa evolução evidencia que a adoção de BIM, modelagem paramétrica e automação deve ser compreendida como parte de uma transformação metodológica da engenharia ferroviária. O verdadeiro avanço não está apenas na digitalização dos desenhos, mas na construção de um ambiente em que as informações passam a acompanhar a infraestrutura desde sua concepção até sua operação, constituindo um ativo estratégico para a sustentabilidade técnica, econômica e operacional dos empreendimentos.



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

4 CONCLUSÕES

A transformação digital na engenharia ferroviária representa uma mudança metodológica que transcende a adoção de novas ferramentas computacionais. Conforme demonstrado neste trabalho, a aplicação integrada da metodologia BIM, da modelagem paramétrica e da automação de processos altera a forma de desenvolver projetos de infraestrutura metroferroviária, transformando o projeto de engenharia de um conjunto de documentos destinados à construção em uma base estruturada de informações capaz de acompanhar todo o ciclo de vida do empreendimento.

A análise evidenciou que os processos tradicionalmente empregados nos projetos de Via Permanente e Rede Aérea de Tração atenderam às necessidades dos empreendimentos durante décadas, porém a crescente complexidade das obras, a intensificação das interfaces multidisciplinares e a evolução dos modelos de contratação passaram a exigir maior integração entre projeto, planejamento, orçamento, execução, fiscalização, operação e gestão dos ativos.

Nesse contexto, verificou-se que a principal contribuição da transformação digital não reside apenas na utilização de modelos tridimensionais, mas na estruturação das informações de engenharia em modelos digitais integrados, capazes de reunir atributos geométricos, técnicos, econômicos e gerenciais em uma única base de dados, continuamente atualizada e reutilizável por diferentes processos ao longo do empreendimento.



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Os resultados obtidos demonstram que BIM, modelagem paramétrica e automação constituem tecnologias complementares de uma nova metodologia de desenvolvimento de projetos. Enquanto o BIM organiza a estrutura das informações, a modelagem paramétrica estabelece relações inteligentes entre os elementos da infraestrutura e a automação padroniza processos, reduz atividades repetitivas e amplia a confiabilidade das informações produzidas.

A integração entre modelos digitais, quantitativos, cronogramas, custos e pacotes de trabalho amplia significativamente o potencial de utilização das informações durante a construção, o acompanhamento físico-financeiro, a fiscalização, a operação e a manutenção da infraestrutura, estabelecendo as bases para a evolução dos empreendimentos ferroviários em direção à gestão digital dos ativos e, futuramente, à implantação de gêmeos digitais (*Digital Twins*).

Como principal contribuição científica, este trabalho demonstra que a transformação digital modifica a própria natureza do projeto ferroviário. Mais do que produzir desenhos ou modelos tridimensionais, o projeto passa a constituir um ativo digital estratégico, capaz de integrar informações de engenharia ao longo de todo o ciclo de vida da infraestrutura.

Por fim, conclui-se que a consolidação dessa transformação dependerá da adoção de padrões de modelagem, bibliotecas paramétricas, interoperabilidade entre plataformas, automação de processos e capacitação das equipes técnicas. Nesse cenário, a engenharia ferroviária brasileira possui uma oportunidade concreta para elevar a qualidade dos projetos,



32ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

13º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

aumentar sua produtividade e fortalecer a gestão integrada dos ativos, consolidando a transformação digital como um dos principais vetores de inovação do setor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EASTMAN, Charles; TEICHOLZ, Paul; SACKS, Rafael; LISTON, Kathleen. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Designers, Engineers, Contractors, and Facility Managers. 3. ed. Hoboken: John Wiley & Sons, 2018.

SUCCAR, Bilal. Building Information Modelling Framework: A Research and Delivery Foundation for Industry Stakeholders. Automation in Construction, v.18, n.3, p.357–375, 2009.

AZHAR, Salman. Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks and Challenges for the AEC Industry. Leadership and Management in Engineering, v.11, n.3, 2011.