

COMO SOFTWARES DE INFRAESTRUTURA MELHORARAM PROJETOS DE ENERGIA EÓLICA E RETORNO DE INVESTIMENTO NA ENEL GREEN POWER

Tiago Garlipp ⁽¹⁾

(1) ProspeCADE Consultoria e Projetos LTDA, Campinas-SP, Brasil 0009-0007-5273-4603

Resumo

Será descrito como tarefas automatizadas de processos e ferramentas ajudaram a otimizar projetos da Enel, incluindo organização de dados, análises, extração de quantitativos, customizações e simulações da Especificação Técnica de Civil.

Além do mais, iremos abordar o aprimoramento dos resultados obtidos, bem como o desenvolvimento de estudos técnicos e desafios encontrados.

A metodologia estará presente em cada tópico, tendo como base a comparação do que era feito antes e depois da transformação digital.

Os resultados serão apresentados ao final do artigo dentro do seu capítulo correspondente e suas vantagens diluídas no decorrer das sessões.

Na conclusão para as práticas adotadas será feita uma analogia com a contextualização BIM.

Objetivo deste trabalho é apresentar abordagens tecnológicas para diferentes finalidades, inerentes ao processo de trabalho da organização.

1. Introdução

A adoção de softwares de infraestrutura no desenvolvimento de projetos de energia eólica na Enel Green Power possibilitou a automatização de processos que antes eram executados de forma manual, conferindo maior agilidade às entregas e suporte qualificado às tomadas de decisões. Adicionalmente, essa abordagem contribuiu para a organização, análise e padronização dos dados produzidos, resultando em ganhos de eficiência, melhoria da qualidade, maior confiabilidade e segurança nos resultados financeiros associados aos ativos da empresa.

2. Abordagens tecnológicas

O Autodesk Civil 3D é um software voltado ao desenvolvimento de modelos de infraestrutura que reflete comportamentos de objetos, sendo uma das características chaves de uma plataforma

BIM [10]. Ele usa software CAD em sua engenharia de geometria com os objetos longitudinais comuns sendo usados de forma paramétrica [10]. Seu arquivo principal de trabalho tem extensão .dwg como padrão, porém diferente do AutoCAD tem seus próprios objetos como subentidades, estes à serem descritos no item 2.1 podendo serem de linguagem aberta LandXML, além de funções operacionais específicas para Engenharia Civil [8].

Já o Autodesk Subassembly Composer (SAC) e Dynamo de extensão .pkt e .dyn respectivamente, e uma vez que seus arquivos são intercambiáveis ao primeiro e por trabalharem com lógica de programação podem prover soluções inteligentes que não existem no Civil 3D.

Com relação ao terceiro software, o Vehile Tracking (extensão .atl), ele é próprio para análise e criação de bibliotecas de veículos para transportes e rotas, trabalhando de forma integrada com o primeiro. Pacote de programas que a Enel detinha sua licença.

Será explanada a aplicação destas tecnologias dentro das necessidades de projetos, bem como seus dados técnicos geridos, demonstrando resultados através de comparação entre o método anterior com o atual e suas vantagens.

2.1. Definição de elementos tipo do Civil 3D

Principais objetos de propriedade do software são: alinhamentos, corredores, superfícies TIN e Corredor e perfis [8] que chamaremos de elementos projetuais.

Uma seção típica ou *assembly* no Civil 3D é a representação da aglutinação de componentes referentes à um corpo estradal ou de acesso de uma plataforma eólica, como pavimentos asfálticos, sarjetas de concreto para drenagem pluvial, linhas de taludes e outros, definidos pelas *subassemblies*.

Os corredores são representações tridimensionais de elementos de projetos com repetição de seções transversais (*assemblies* e *subassemblies*) dada uma equidistância, seguindo um determinado alinhamento horizontal e perfil vertical proposto, com base em uma superfície *TIN* (triangulação natural entre os pontos vizinhos) de referência para cortes e aterros quando se encontram abaixo ou acima da última, respectivamente falando. Estes aspectos facilitam a integração dos objetos projetados com terreno existente usando modelo digital de terreno (MDT) [10].

Os corredores são compostos por regiões que estão vinculados à seções com diferentes parâmetros para cada intervalo de estaca de um alinhamento.

São dos corredores que se obtém dados como quantidades, áreas e triangulação de superfícies, estas chamadas de *Corridor Surfaces*.

A partir destas definições, a criação de *assembly* (eixo da seção típica) e *subassemblies* (componentes desta seção) se faz necessária para criação de corredores e superfícies.

3. Necessidade das subassemblies

Em termos de geotecnia, para estabilidade e consequente proteção dos solos, de modo à aumentar o fator de segurança e facilitar manutenção da drenagem é apropriado existir níveis intermediários (banquetas) a meia altura de um talude [12], podendo conter nestes locais dispositivos de drenagem.

É recomendável também que existam tais dispositivos nas cristas e nos pés, em corte e aterro respectivamente [9], visando o adequado direcionamento do escoamento das águas pluviais e evitando assim seu contato direto com o novo terreno.

Considerando a distribuição progressiva das tensões geradas pelo tráfego ao subleito de um corpo estradal, para melhor resistência dos materiais e solos de aterro, é recomendável a composição de camadas sobrepostas, garantindo desempenho estrutural e sua durabilidade, que pode consistir em base, subbase e reforço do subleito para pavimento asfáltico [13].

Além disso, uma premissa comum na engenharia de construção é da decapagem (limpeza da topografia) para receber a acomodação do novo solo de terraplenagem [14]. Para tal, tanto a representação desta espessura como o levantamento desta quantidade para contratação de serviços se faz necessário.

3.1. Seção típica customizada

Para casos comuns no Civil 3D, por conta de sua biblioteca padrão de seções ser limitada e por desconhecimento de ferramentas como o SAC e seus benefícios utilizam-se *subassemblies* nativas, se fazendo necessária a criação de corredores, regiões ou superfícies separadas, gerando várias informações desnecessárias e redundantes.

Para mudar isso, como desafio, foi feita uma única seção que reunisse todas as informações descritas no item 3, evitando de se criar inúmeras *assemblies* e *subassemblies*.

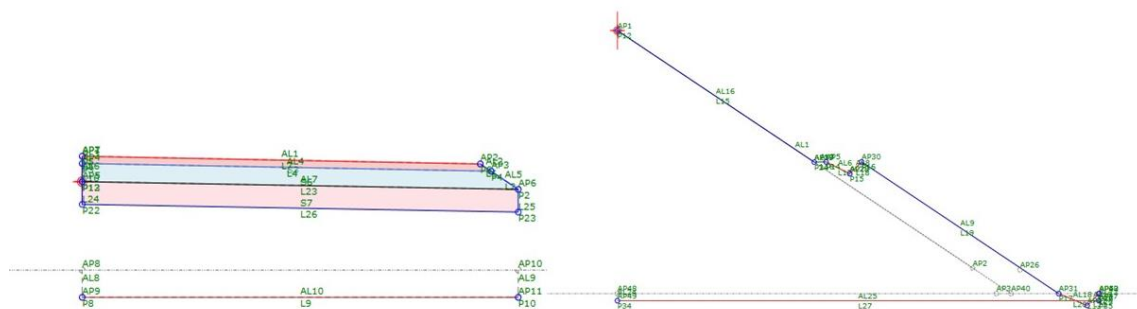
Além disso, outra vantagem era para que o software pudesse identificar para cada nova situação um comportamento relacional daquela assembly, de forma à evitar novas regiões ou corredores ou um elemento diferente para cada caso.

Para estudos dos desenhos técnicos da Enel, este processo ainda não era feito no software, tampouco com elementos customizados, sendo necessário representar as linhas longitudinais em AutoCAD para então encontrar suas medidas, à ser descrito no item 4.3.1.

Com a customização, os detalhes foram incorporados nesta seção para posterior importação ao Civil 3D, reduzindo quantidade de informações desnecessárias e excessivas execuções operacionais.

Os códigos para levantamento de quantidades explícitos no item 4.3.1. foram considerados nesta fase.

Estes limites, camadas e detalhamentos são apresentados na figura 1.



4. Especificação Técnica de Civil 3D

Elaborada como anexo de contrato da Enel e classificada como *Exchange Information Requirement-4* (anexo 4 das especificações técnicas de BIM) a especificação técnica (ET) de Civil 3D surgiu com o objetivo de melhorar a organização dos dados técnicos recebidos dos fornecedores [6], já que não existiam premissas pré-definidas.

Consideram-se dados técnicos todos os elementos projetuais utilizados na fase de desenvolvimento, descrito no item 2.1.

Os tópicos 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5 incluem-se nesta ET, sendo o 4.3.1 consequência do 4.3.

4.1. Nomenclaturas

Cada arquivo .dwg e objeto-tipo passou a ter sua própria nomenclatura e disciplina. Para a pasta TOPOGRAFIA, um desenho que contemplava os aerogeradores do número 01 ao 18, acompanhado do prefixo do subparque de nome “LAGOA DOS VENTOS” era denominado “LDV_01-18_TOPOGRAFIA”.dwg, seguindo de GEOMETRIA: “LDV_01-18_GEO”.dwg, MODELO “LDV_01_18_MODELO”.dwg e SECOES VOLUMES como LDV_01-18_SECOES_VOLUMES”.dwg.

Para alinhamentos adotaram-se padrões como IR-XX (n) para *Internal Road* e AR-XX (n) para *Access Road* seguido de seus números, exemplo IR-01 e AR-01. Para perfis do terreno existente, utilizou-se a nomenclatura EG-IR-XX (*Existing Ground – Internal Road*), EG-IR-01, seguida de objetos como: corredores, superfícies, section views e sample lines, tendo seus estilos de apresentação e etiquetas específicas associadas para suas visualizações.

Dessa forma, ao receber o projeto, a contratante já dispunha dos arquivos pré-configurados, eliminando o tempo gasto para busca de cada elemento e/ou ajustes de apresentações.

4.2. Organização da base de dados

O DataShortCut que é um recurso de compartilhamento de referências externas dos elementos [8] projetuais no Civil 3D foi utilizado para gerar os arquivos em LandXML (de extensão .xml). Estes eram separados e compartilhados com demais membros da equipe dentro de um pacote com suas disciplinas associadas.

Feito isso, conforme item 4.1 foram gerados arquivos .dwg de disciplinas para recebimento destas referências de projeto.

A metodologia anterior diferia muito da atual, uma vez que não se fazia o uso destas referências, acarretando em recebimentos de arquivos com mais de 200 MB, pois centralizava todas as informações do projeto de forma redundante e desnecessária em um único .dwg.

Após a adoção desta prática percebeu-se uma melhor distribuição e organização dos dados, não superando muitas vezes o tamanho de 20 MB para cada disciplina de .dwg.

A figura 2 expõe a ideia do fluxo de trabalho [6].

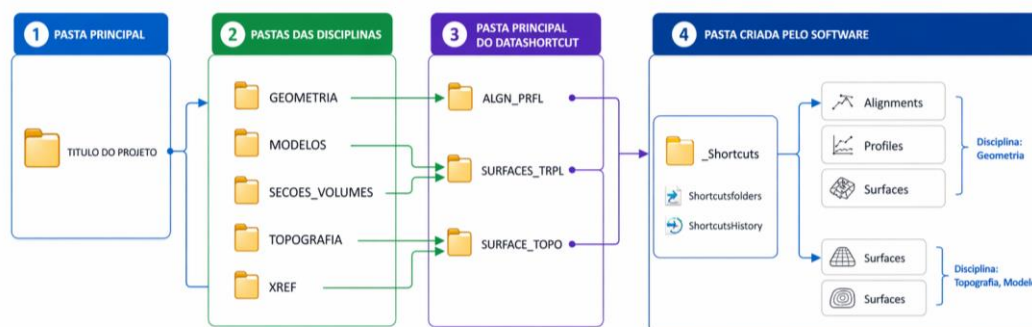


Figura 2: Fluxograma de pastas de Datashortcut e disciplinas no Windows Explorer.

4.3. Definição das superfícies

Nesse contexto, também foi requisitado que as superfícies de corredores fossem definidas considerando todo o detalhamento de pontos e linhas longitudinais das seções transversais, (*link codes* e *feature lines corridor*) o que antes não era praticado, de forma a garantir a correta definição do modelo.

Essa abordagem evitou interpolação incorreta da malha triangular e a ausência de sobreposições ou duplicidades.

4.3.1. Cálculos

Com a perfeita modelagem de terraplenagem, pavimentação e drenagem superficial, os cálculos volumétricos passaram a ser melhor aferidos.

Antes era feita a digitação e cópia das distâncias lineares em metros no CAD, multiplicando-as por suas larguras e espessuras (m), e levantando assim suas áreas (m²) e volumes (m³) dentro planilhas pré-formatadas, o que para as inúmeras ramificações de eixos em função da escala de um layout eólico era um grande desafio, pois além de mais demorado e existir maior suscetibilidade aos erros humanos, conferia maior esforço manual.

No Civil 3D, o cálculo de volume de terraplenagem e limpeza é obtido através da comparação entre superfícies, e a pavimentação e dispositivos longitudinais de drenagem pelas estruturas dos corredores que vem de *shape codes* das *subassemblies*, conforme descrito no item 3.1.

Como dentro software Civil 3D existe o método de cálculos de volumes, com a obtenção das superfícies de corredores e estruturas destes foi possível a geração dos resultados, sendo suas unidades incorporadas às planilhas de quantidade para consequente orçamento.

4.4. Design Check – Alinhamento horizontal e perfil vertical

O Design Criteria é um banco de dados de origem ASSTHO baseado em LandXML (de extensão *.xml*) que pode ser customizado para dados próprios de acordo com um padrão local, atendendo as necessidades de uma projetista, e ser conectado a um *.dwg* do Civil 3D.

A partir disso é possível associar velocidade diretriz da via com seu raio de curva circular para alinhamentos horizontais e fatores K para perfis verticais.

Com a customização, foram criados dentro das pastas correspondentes valores mínimos que representavam as restrições dos veículos de transporte da pá de uma torre eólica das fabricantes Vestas, GAMESA, Nordex Acciona conforme preconizado em suas normas.

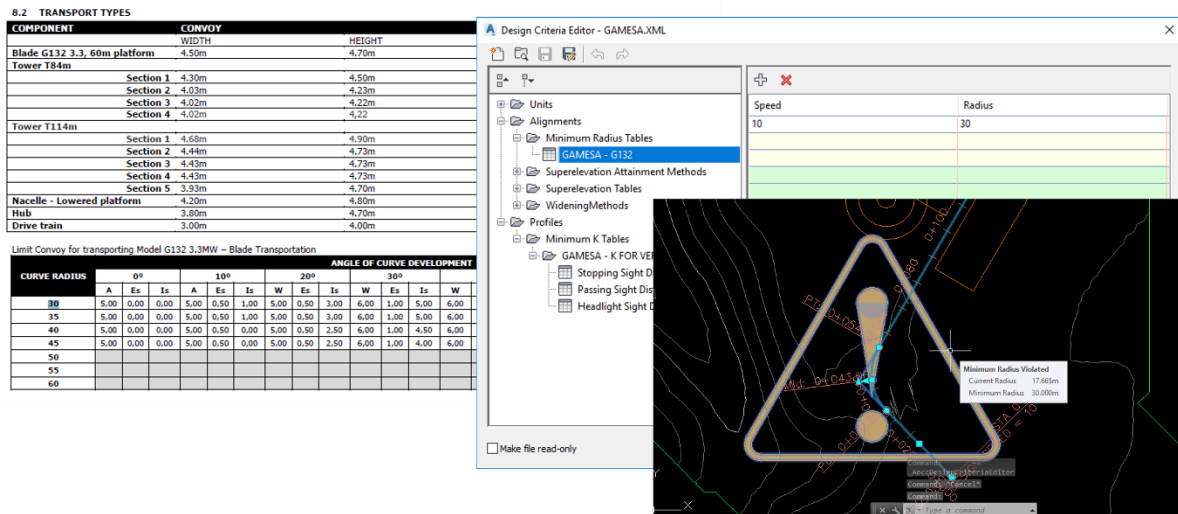


Figura 3: Design Criteria customizado à partir da ET GAMESA [7].

Quando não se alcança o resultado mínimo esperado, o software tem a prerrogativa de indicar através de um símbolo de alerta dentro do *Model Space* ou na tabela de alinhamentos, pelo recurso *Alignment Grid View*, sua geometria específica com tais inconsistências. O mesmo se aplica para fatores K em perfis longitudinais, conforme a interface do banco de dados customizado, bem como indicações de elementos fora da concordância em perfis mostrados em *Model Space*, conforme figura 4.

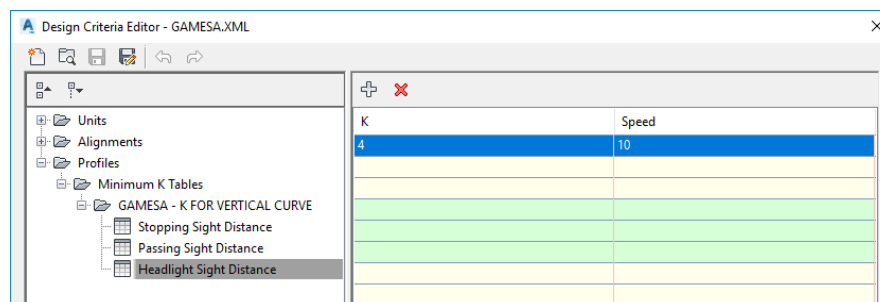


Figura 4: Design Criteria Editor customizado para GAMESA – fator K.

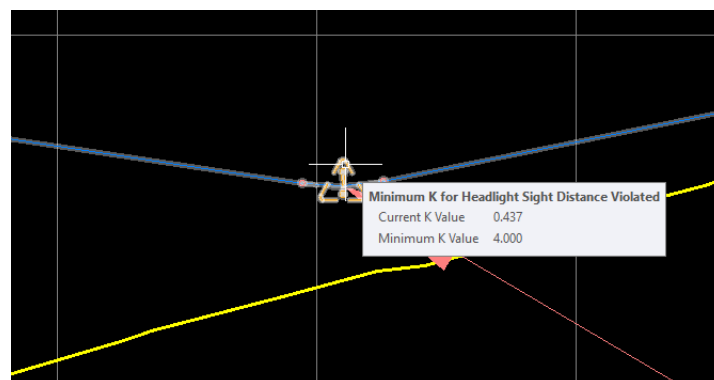


Figura 5: Símbolo de alerta para perfil analisado em model space com Design Criteria customizado da GAMESA.

Considerando que era preciso conferir dentro dos .dwgs ou .pdfs cada desenho em planta sem qualquer símbolo e assim confrontar com tabelas isso era um processo era lento, tedioso e menos assertivo do que quando passou a apresentar todos os pontos em desconformidade de uma única vez.

Esta etapa era feita dentro .dwg de disciplina de GEOMETRIA conforme item 4.1.

4.5. Análise de Rota do Veículo Tipo e sua customização

Posterior a esta análise, na disciplina de MODELO conforme item 4.1, era feita a simulação de veículo tipo customizado das fabricantes por meio do plugin *Vehicle Tracking* para identificar as coordenadas dos pontos de colisão da pá com o terreno. BIM suporta interfaces semi-automáticas com análises e simulação de programas para prover *feedbacks* durante o processo de desenvolvimento de um projeto [10].

Para este caso, como método antigo se tinha a conferência sobreposta entre blocos AutoCAD contendo o desenho do veículo e *offsets* que representavam as larguras das faixas de rolamento e taludes.

Esta customização bem como verificação permite que as análises e simulações de tráfego seja feita de forma mais precisa e ágil, aplicando-se também tal condição para avaliação das rotas de acesso e das diferentes possibilidades de manobra dos veículos dada determinada condição de terreno, em casos de seção mista em corte e aterros, apenas aterros ou apenas corte. [7].

Isso serviu também para áreas de manobra dos retornos dos veículos através do estudo do retorno ao acesso principal e para superlarguras (*offsets* de segurança) em curvas fechadas e de pequenos ângulos e raios, conforme figura 6.

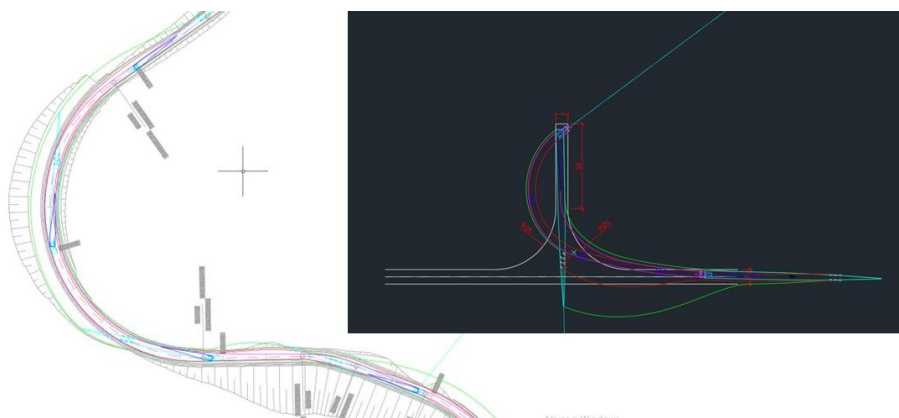


Figura 6: Análises a partir de simulações no Vehicle Tracking.

5. Conversão de objetos tipos do Civil 3D via Dynamo

No contexto BIM, a utilização de diferentes plataformas de fabricantes pode gerar limitações de interoperabilidade devido a formatos proprietários. A norma ISO 16739-1:2018 define o Industry Foundation Classes (IFC) como um modelo de dados aberto e neutro, com o objetivo de permitir a troca de informações entre sistemas. Entretanto, em aplicações de infraestrutura, é comum a utilização de formatos abertos específicos, como o LandXML, para viabilizar a interoperabilidade entre softwares distintos [11].

Isso ocorreu entre o Autodesk Civil 3D e ISTRAM, quando fornecedores contratados em determinados projetos não possuíam licenças Autodesk.

Uma vez que os elementos projetuais são separados por LandXML conforme item 4.2, para realizar análises como descrito no item 4.4 o desafio era encontrar uma forma de importá-los de uma única vez devido à uma limitação operacional no software que permite apenas trazer um por um para este tipo de arquivo.

Por isso, copilar todos os dados tornou o processo muito demorado e repetitivo.

A partir do desenvolvimento de rotinas via Dynamo com linguagem Python foi possível importar todos os dados de uma única vez, sendo esta melhoria incorporada na atualização das demais especificações técnicas de BIM associadas à ET de Civil 3D.

Esses processos bem como linhas de programação são demonstrados na figura 7 à seguir [5].

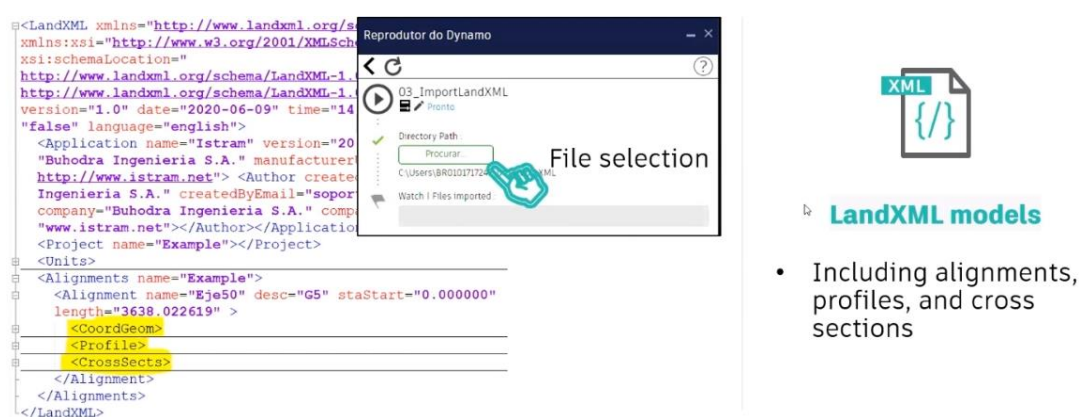


Figura 7: Rotina com Python via Dynamo (.dyn).

6. Resultados

Como resultado, obteve-se maior disponibilidade de tempo para desenvolvimento de modelagens e análises sobre múltiplos critérios e layouts, como: redução de extensões de acessos para aerogeradores, estudos geométricos e topográficos com menos movimentos de terra, atendimento às inclinações longitudinais, raios das curvas e fatores K limites (descritos na seção 4.4), dando maior subsídio à definição de soluções economicamente mais viáveis, seguras e de melhores logísticas.

A especificação técnica possibilitou uma linguagem comum e única entre os participantes, além de melhores práticas em termos de organização da base de dados hierárquica do projeto.

Isso contribuiu para uma rotina de trabalho mais eficaz, precisa e produtiva entre o contratante e a contratada, obtendo assim maior fluidez das análises.

Tais aspectos vêm de encontro com a citação [2] que sugere como definição de escopo a etapa em que se busca garantir que todas as partes interessadas, desde contratante até projetistas, compartilhem um entendimento comum e preciso sobre o que deve ser executado para a geração do projeto desejado, e somente deste.

Essa abordagem está alinhada ao entendimento de que projetos também podem ser concebidos para solucionar problemas de processo, representando, sob a ótica da qualidade, a transição entre um desempenho atual e um futuro mais adequado, alcançando-o de forma mais eficaz [4].

Desta forma, os estudos se tornaram mais competitivos viabilizando o seu envio aos comitês de investimentos e tornando-os mais previsíveis por reduzir incertezas já nas fases iniciais do planeamento [1], se tomando assim decisões mais vantajosas.

A adoção da abordagem de análise de rota se mostrou alinhada aos objetivos do controle de obras, ao possibilitar o fornecimento de informações técnicas às equipes de execução, o reforço da segurança no canteiro, o cumprimento dos prazos definidos no planeamento e a mitigação de problemas inerentes ao processo construtivo, como intempéries, atrasos e desvios [3].

Aliado às automações, com estes novos processos, aumentou-se a capacidade em termos de produtividade e economia do projeto uma vez que se antecipou problemas que poderiam ocorrer na fase de construção.

Em termos financeiros, estima-se um ganho entre 15% à 20% do valor global da planilha de quantidades se comparado à ausência de práticas automatizáveis a partir das tecnologias citadas.

7. Conclusão

A antecipação das possíveis problemáticas de um projeto apoiado à um uso da automatização do BIM faz parte de um conceito do gráfico (figura 8) que revela que se tem uma capacidade maior de influência nos custos nas primeiras fases de um projeto (planejamento conceitual, estudos de viabilidade, concepção e detalhamento) [15]. Para que se preserve as informações até a fase de operação e manutenção, um ambiente BIM precisa estar apto à gerar e armazenar objetos entre diferentes ferramentas e plataformas, além de gerenciar os dados de forma eficaz, incluindo alterações no nível do objeto [10], aspectos estes que procurou se suceder para os estudos técnicos da Enel.

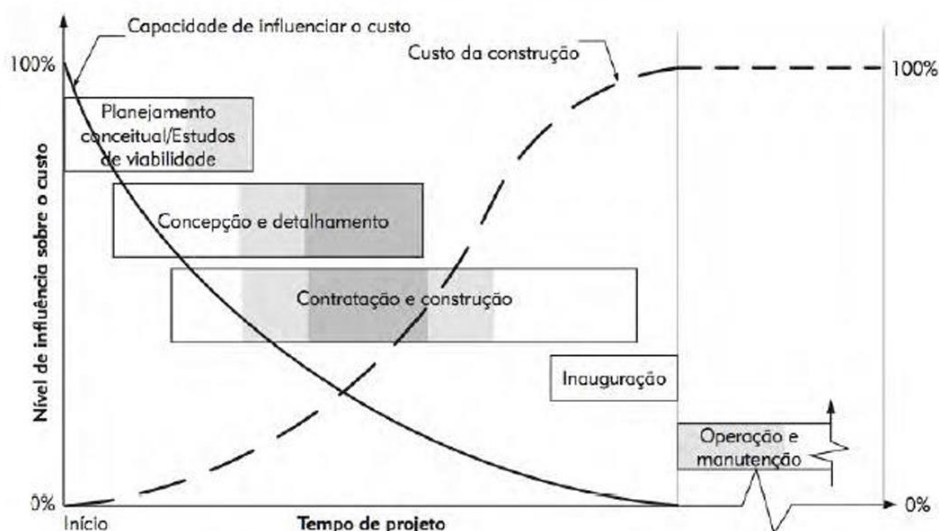


Figura 8: Gráfico exibindo linhas de interações sobre o ciclo de vida BIM [15].

Referências

- [1] C. Barbosa, C. A. D. do Nascimento, F. Abdollahyan, e R. M. Pontes, *Gerenciamento de custos em projetos*, 5. ed. Rio de Janeiro, Brasil: Editora FGV, 2014.
- [2] M. A. Sotille, L. C. M. Menezes, L. F. da Silva Xavier, e M. L. S. Pereira, *Gerenciamento do escopo em projetos*, 3. ed. Rio de Janeiro, Brasil: Editora FGV, 2013.
- [3] T. F. Campestrini, M. C. Garrido, M. R. Junior, S. Scheer, e M. C. D. Freitas, *Entendendo BIM: Uma visão do projeto de construção sob o foco da informação*, 1. ed. [S.l.]: Tiago Francisco Campestrini (editor), 2015.
- [4] R. B. Tânia, V. R. Alexandre, S. C. Frederico, e J. F. Nogueira, *Gerenciamento da qualidade em projetos*, 4. ed. Rio de Janeiro, Brasil: Editora FGV, 2014.
- [5] E. Ambrassa, C. Saad, I. Ismail, e M. Bandino, *Dynamo for Civil 3D: Automated Checks of Open-Format Road Design Made Easy*, Autodesk University 2021. Disponível em: <https://www.autodesk.com/autodeskuniversity/class/Dynamo-Civil-3D-Automated-Checks-Open-Format-Road-Design-Made-Easy-2021>. Acesso em: (05/12/25).
- [6] Enel Green Power, *Technical Specification for Design Wind Farm with Civil 3D Software (Civil Design Works 3D)*, preparado por T. A. A. Garlipp, documento técnico interno, 2018.
- [7] Siemens Gamesa Renewable Energy, *Especificação técnica*. Documento interno não publicado, acesso restrito, [s.l.], [s.d.].
- [8] Autodesk, *Autodesk Civil 3D Help*. Disponível em: <https://help.autodesk.com/view/CIV3D/>. Acesso em: 19 abr. 2026.
- [9] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, *Álbum de projetos-tipo de dispositivos de drenagem*. 5. ed. Rio de Janeiro, Brasil: Instituto de Pesquisas Rodoviárias (IPR), 2018. (IPR-736). Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/ipr-736-album-de-projetos-tipo-de-dispositivos-de-drenagem>. Acesso em: 19 abr. 2026.
- [10] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling*, 3. ed. Hoboken, EUA: Wiley, 2018.
- [11] International Organization for Standardization, *ISO 16739-1:2018 – Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries – Part 1: Data schema*. Genebra, Suíça: ISO, 2018.
- [12] Denise Maria Soares Gerscovich, *Estabilidade de taludes*, 2. ed. São Paulo, Brasil: Oficina de Textos, 2016. Disponível em: [Acessar no Google Books](#). Acesso em: 19 abr. 2026.
- [13] Liedi Légi Bariani Bernucci, L. M. G. Motta, J. A. P. Ceratti e J. B. Soares, *Pavimentação asfáltica: formação básica para engenheiros*. Rio de Janeiro, Brasil: Petrobras, 2008. Disponível em: [Acessar PDF oficial](#). Acesso em: 19 abr. 2026.
- [14] Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, *DNIT 104/2009 – ES: Terraplenagem – Serviços preliminares – Especificação de serviço*. Rio de Janeiro, Brasil, 2009. Disponível em: [Acessar documento oficial](#). Acesso em: 19 abr. 2026.
- [15] C. M. Eastman, P. Teicholz, R. Sacks, and K. Liston, *Manual de BIM: um guia de modelagem da informação da construção para arquitetos, engenheiros, gerentes, construtores e incorporadores*. Porto Alegre, Brasil: Bookman, 2013.