

LUCAS ANDRADE NUNES

**ABORDAGEM PARA O GERENCIAMENTO EFICIENTE DE DADOS DE
MODELOS IFC DE PONTES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

Orientador: José Carlos Lopes Ribeiro

Coorientador: Kléos Magalhães Lenz César Júnior

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2024**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

N972a
2024
Nunes, Lucas Andrade, 1998-
Abordagem para o gerenciamento eficiente de dados de
modelos IFC de pontes / Lucas Andrade Nunes. – Viçosa, MG,
2024.
126 f.: il. (algumas color.).

Orientador: José Carlos Lopes Ribeiro.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,
Departamento de Engenharia Civil, 2024.
Inclui bibliografia.
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2024.266>
Modo de acesso: World Wide Web.

1. Pontes - Projetos e construções. 2. Projetos de engenharia
- Processamento de dados. 3. Engenharia auxiliada por
computador. 4. Modelagem de informação da construção.
I. Ribeiro, José Carlos Lopes, 1977-. II. Universidade Federal de
Viçosa. Departamento de Engenharia Civil. Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDD 22. ed. 624.25

LUCAS ANDRADE NUNES

**ABORDAGEM PARA O GERENCIAMENTO EFICIENTE DE DADOS DE
MODELOS IFC DE PONTES**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 28 de fevereiro de 2024.

Assentimento:

Documento assinado digitalmente
 **LUCAS ANDRADE NUNES**
Data: 15/07/2024 16:04:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Lucas Andrade Nunes
Autor

Documento assinado digitalmente
 **JOSE CARLOS LOPES RIBEIRO**
Data: 15/07/2024 16:52:38-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

José Carlos Lopes Ribeiro
Orientador

AGRADECIMENTOS

Chegar ao final desta etapa representa a realização de um sonho que cultivei por um longo tempo. Meu objetivo sempre foi, ao concluir a graduação, ingressar no mestrado, e a experiência não poderia ter sido melhor. Ao longo desse período, tive a oportunidade de conhecer novas pessoas, fazer novos amigos, compartilhar experiências e aprender de maneira significativa. O foco do meu trabalho foi um dos temas mais relevantes para a indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação na atualidade: o BIM.

Diante disso, não posso deixar de expressar meus sinceros agradecimentos a todos vocês:

Primeiramente, expresso minha gratidão a Deus, pois foi Ele quem proporcionou toda essa jornada. Nas dificuldades, sempre recorri ao Senhor, e o amparo sempre foi concedido. Deus, muito obrigado pelas oportunidades, pela força e disposição que me foram concedidas. Agradeço também a Nossa Senhora e a Santo Expedito por suas intercessões ao longo dessa trajetória.

Agradeço imensamente à minha mãe, que sempre rezou por mim. O carinho, suporte, amor e apoio dela foram fundamentais. Ao meu pai, expresso minha gratidão por toda a força, incentivo e companheirismo. À minha irmã, a quem considero como uma referência, expresso meu profundo agradecimento pelo direcionamento e apoio. À minha namorada, Vanessa, que esteve sempre ao meu lado e nunca mediu esforços para me ajudar em tudo que fosse necessário. Sua parceria foi mais do que fundamental para superar todos os desafios. Agradeço imensamente por sua dedicação e apoio constante.

À Universidade Federal de Viçosa, expresso minha gratidão por proporcionar as melhores condições possíveis para a realização das atividades.

Ao meu orientador, Professor José Carlos, expresso minha sincera gratidão pelo direcionamento, assistência e pela recomendação e disponibilização da ferramenta de trabalho. Isso foi fundamental para viabilizar a proposta da abordagem. Aprender a programar em Delphi foi uma experiência extremamente gratificante.

Ao meu coorientador, Professor Kléos, idealizador do trabalho e que foi muito além das funções puramente relacionadas à atividade exercida. Tivemos conversas muito enriquecedoras, tanto sobre BIM como sobre a vida. Sou extremamente grato pelas oportunidades, pelo apoio, incentivo e pelos conselhos que o senhor me deu.

Ao meu amigo de laboratório, Guilherme Palla, que me forneceu a base para o desenvolvimento das ferramentas. Além disso, dedicou tempo e demonstrou muita paciência ao me apresentar o que havia feito em seu trabalho e como isso contribuiria para a minha pesquisa.

Não posso me esquecer da Professora Beatriz, que me deu suporte e incentivo para ingressar no mestrado.

Também expresso meus agradecimentos aos demais amigos do laboratório, que sempre se mostraram dispostos a ajudar quando precisei.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

NUNES, Lucas Andrade, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2024.
Abordagem para o gerenciamento eficiente de dados de modelos IFC de pontes.
Orientador: José Carlos Lopes Ribeiro. Coorientador: Kléos Magalhães Lenz César Júnior.

Um dos principais desafios na implementação do BIM reside no gerenciamento eficiente de dados. Vários protocolos foram desenvolvidos para auxiliar nessa atividade, como o *Level of Development* (LOD). A estrutura do LOD consiste em níveis utilizados para especificar até que ponto os elementos do modelo devem ser desenvolvidos. Entretanto, sua natureza excessivamente genérica dificulta um entendimento claro de quais informações devem ser fornecidas, o que, por consequência, inviabiliza processos de verificação de dados. Diante da necessidade de procedimentos mais eficientes para especificar e verificar as informações do modelo, neste trabalho é proposta e desenvolvida uma abordagem fundamentada na troca de informações através do esquema IFC (*Industry Foundation Classes*). Essa abordagem é viabilizada por meio de dois aplicativos, ambos desenvolvidos em Delphi. O primeiro aplicativo, denominado BDSpec (*Bridge Data Specification*), é destinado à especificação das informações necessárias e foi projetado com base em uma análise do LOD e termos relacionados, atividade que também fez parte dos objetivos desta pesquisa. O segundo aplicativo, denominado BDCheck (*Bridge Data Checker*), lê o arquivo .ifc do modelo, armazena as informações e valida os dados, sendo desenvolvido com base na documentação do IFC 4.3, o que possibilitou compreender como as informações são codificadas em um arquivo. Direcionada especificamente a pontes, a abordagem busca aprimorar a comunicação e viabilizar a verificação eficiente dos dados. Uma vez que o gerenciamento de ativos demanda dados precisos e de fácil acesso, a abordagem foi desenvolvida com o propósito de facilitar essa exigência e os aplicativos resultantes não apenas cumprem as funcionalidades propostas pela abordagem, mas também apresentam um potencial significativo para expansão, podendo contribuir de maneira eficaz na gestão de dados em organizações. A análise do LOD revelou uma tendência para o desenvolvimento de métricas complementares, porém independentes, que possibilitam a especificação de diversos tipos de informações que podem ser associadas ao modelo. Essa abordagem está alinhada à metodologia do *Level of Information Need*, cujo objetivo principal é evitar o fornecimento excessivo de informações. Nesse contexto, o LOD aparece como uma dessas métricas, especialmente voltado para a descrição de informações geométricas.

Palavras-chave: Pontes; Industry Foundation Classes; IFC; Building Information Modeling; BIM; Level of Information Need; Level of Development; LOD.

ABSTRACT

NUNES, Lucas Andrade, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2024. **Approach for efficient data management of IFC bridge models.** Adviser: José Carlos Lopes Ribeiro. Co-adviser: Kléos Magalhães Lenz César Júnior.

One of the main challenges in implementing BIM lies in efficient data management. Various protocols have been developed to help with this, such as the Level of Development (LOD). The LOD structure consists of levels used to specify the extent to which model elements should be developed. However, its excessively generic nature makes it difficult to have a clear understanding of what information should be provided, which consequently makes data checking processes unfeasible. Given the need for more efficient procedures for specifying and checking model information, in this work it is proposed and developed an approach based on the exchange of information using the IFC (Industry Foundation Classes) schema. This approach is made possible through two applications, both developed in Delphi. The first application, called BDSpec (Bridge Data Specification), is aimed at specifying the necessary information and was designed based on an analysis of the LOD and related terms, an activity that was also part of the objectives of this research. The second application, called BDCheck (Bridge Data Checker), reads the model's .ifc file, stores the information, and checks the data. It was developed based on the IFC 4.3 documentation, which made it possible to understand how information is encoded in a file. Specifically aimed at bridges, the approach seeks to improve communication and enable efficient data verification. Given that asset management requires accurate and easily accessible data, the approach was developed to facilitate this requirement. Thus, the resulting applications not only fulfilled the functionalities proposed by the approach, but also have significant potential for expansion and can make an effective contribution to data management in organizations. The LOD analysis revealed a trend towards the development of complementary but independent metrics that make it possible to specify different types of information that can be associated with the model. This approach is in line with the Level of Information Need methodology, whose main objective is to avoid over-provision of information. In this context, LOD appears as one of these metrics, especially focused on describing geometric information.

Keywords: Bridges; Industry Foundation Classes; IFC; Building Information Modeling; BIM; Level of Information Need; Level of Development; LOD.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Viga modelada no software Revit	19
Figura 1.2 – Arquivo .ifc versão 4.3 aberto no BIMCollab	20
Figura 1.3 – Arquivo .ifc versão 4.3 aberto no usBIM.....	20
Figura 1.4 – Arquivo .ifc versão 4.3 aberto no Navisworks.....	21
Figura 1.5 – Arquivo .ifc versão 4.3 aberto no Solibri.....	21
Figura 1.6 – Arquivo .ifc versão 4 aberto no BIMCollab	22
Figura 2.1 – Longarina de concreto pré-moldada – LOD	30
Figura 2.2 – Fluxograma da metodologia.....	33
Figura 2.3 – Disposição das informações na interface	34
Figura 2.4 – Lista de requisitos e mapeamento das informações com base no IFC4.3.2.0.....	35
Figura 2.5 – Parte do arquivo .ifc elaborado em um editor de texto simples	35
Figura 2.6 – Definição da propriedade referente à resistência à compressão.....	36
Figura 2.7 – Definição do material que compõe as longarinas	37
Figura 2.8 – Propriedades do concreto expostas no visualizador de modelos BIM.....	38
Figura 3.1 – IFC Extensões: documentação 4.3.2.0	49
Figura 3.2 – Novos tipos pré-definidos para as entidades existentes	50
Figura 3.3 – Relacionamentos entre conjuntos de propriedades e elementos no IFC	57
Figura 3.4 – Exemplo de criação de um objeto a partir da leitura de uma linha do arquivo....	59
Figura 3.5 – TIfcObjectDefinition.....	60
Figura 3.6 – TIfcPropertySetDefinition	61
Figura 3.7 – TIfcRelAssociatesMaterial.....	63
Figura 3.8 – TIfcPropertySingleValue	64
Figura 3.9 – Verificação da atribuição de uma propriedade a uma longarina.....	66
Figura 3.10 – Propriedade MassDensity	67
Figura 3.11 – Definição de unidade atribuída à propriedade “MassDensity”	68
Figura 3.12 – Interface do BDCheck.....	69
Figura 3.13 – Ponte modelada no Revit 2024	73
Figura 3.14 – Verificação preliminar	74
Figura 3.15 – Teste 2.....	75
Figura 3.16 – Teste 3	77
Figura 4.1 – Frequência dos termos utilizados nos documentos	94

Figura 4.2 – Organizações/documentos utilizados como referência	97
Figura 4.3 – Abordagens encontradas	99
Figura 4.4 – Tabela de elementos do modelo	102
Figura 4.5 – Interface do BDSpec	108
Figura 4.6 – Ponte: Parâmetros IFC dos elementos.....	109
Figura 4.7 – Estrutura do arquivo	111
Figura 4.8 – Interface do BDCheck.....	112
Figura 4.9 – Abordagem para a especificação e verificação de informações.....	113

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Estruturação dos conjuntos de propriedades com categorias	56
Tabela 3.2 – Tipos de condições	71
Tabela 3.3 – Unidades para a especificação de condições	72
Tabela 3.4 – Verificação preliminar	74
Tabela 3.5 – Teste 2.....	75
Tabela 3.6 – Teste 3.....	77
Tabela 4.1 – LOD em diferentes documentos	90
Tabela 4.2 – Definições LOD.....	98
Tabela 4.3 – Definições do conceito de LOD	105
Tabela 4.4 – Parâmetros IFC de elementos de pontes	109

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AECO – Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação

AIA – American Institute of Architects

BDCheck – Bridge Data Checker

BDSpec – Bridge Data Specification

BIM – Building Information Modeling

bSDD – buildingSMART Data Dictionary

bSI – buildingSMART International

CAD – Computer Aided-Design

IAI – Industry Alliance for Interoperability

IDS – Information Delivery Specification

IFC – Industry Foundation Classes

LOD – Level of Development

LoD – Level of Detail

LOG – Level of Geometry

LOI – Level of Information

MVD – Model View Definition

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – Introdução geral	15
1.1 Introdução	16
1.2 Justificativa	18
1.2.1 Análise de dados no arquivo .ifc com o auxílio de visualizadores	19
1.3 Objetivos	23
1.4 Estrutura da dissertação	24
Referências.....	24
CAPÍTULO 2 – Proposição de uma metodologia para a definição e verificação do nível de informação em modelos BIM de pontes	26
2.1 Introdução	27
2.2 Metodologia	28
2.3 Desenvolvimento	29
2.3.1 LOD – Level of Development.....	29
2.3.2 Verificação de modelos por meio de regras	31
2.3.3 IFC – Industry Foundation Classes	31
2.3.4 Metodologia para a definição e verificação do nível de informação em modelos....	32
2.3.5 Metodologia preliminar proposta aplicada à análise estrutural de pontes	34
2.3.6 Importância da correta representação das informações no arquivo .ifc	39
2.4 Conclusões	39
Agradecimentos	40
Referências.....	40
CAPÍTULO 3 – Proposta para a verificação automática de dados IFC de modelos de pontes	43
3.1 Introdução	44
3.2 Building Information Model.....	46
3.3 Industry Foundation Classes	46
3.3.1 IFC para infraestrutura	48
3.3.2 O projeto de extensão IFC Bridge.....	48
3.4 Level of Development, Level of Information Need e Model View Definition	51
3.5 Verificação baseada em regras.....	54
3.6 Metodologia	55

3.6.1 Mecanismo de funcionamento do BDCheck.....	57
3.6.2 Leitura do arquivo .ifc.....	58
3.6.2.1 Criação das classes	60
3.6.2.2 Análise dos dados armazenados nas listas.....	65
3.6.3 Interface e funcionalidades do BDCheck.....	68
3.6.4 Relatório de resultados	70
3.6.5 Tipos de condições	71
3.6.6 Modelagem.....	72
3.7 Resultados	73
3.7.1 Teste 1: verificação preliminar – análise dos parâmetros IFC dos elementos	73
3.7.2 Teste 2: associação de material e definição de propriedade (YoungModulus).....	75
3.7.3 Teste 3: associação de material e definição de propriedade (MassDensity)	76
3.8 Discussão	78
3.9 Considerações finais	79
Agradecimentos	80
Referências.....	80
CAPÍTULO 4 – Avaliação das perspectivas do Level of Development (LOD) e estabelecimento de uma abordagem integrada para a especificação e verificação de dados IFC de modelos de pontes	85
4.1 Introdução	86
4.2 Metodologia	88
4.2.1 Análise do LOD	88
4.2.2 Ferramentas para a implementação da abordagem proposta.....	89
4.3 Desenvolvimento	90
4.3.1 Level of Development.....	90
4.3.1.1 Análise dos termos	93
4.3.1.2 Organizações/documentos utilizados como referência.....	97
4.3.1.3 Identificação das abordagens.....	99
4.3.1.4 Definição do LOD	102
4.3.1.5 Perspectivas para o LOD	103
4.3.2 Industry Foundation Classes (IFC)	105
4.3.3 Information Delivery Specification (IDS).....	106
4.3.4 buildingSMART Data Dictionary (bSDD)	107

4.3.5 Ferramentas para a viabilização da abordagem proposta.....	107
4.4 Discussão	113
4.5 Considerações finais	115
Agradecimentos	116
Referências.....	116
CAPÍTULO 5 – Considerações finais	123
5.1 Considerações finais	124
5.2 Propostas para trabalhos futuros	126

CAPÍTULO 1

Introdução geral

Resumo

Este capítulo contém a introdução geral e a justificativa do trabalho, juntamente com a descrição do objetivo geral e específicos. Para facilitar o entendimento dos leitores, também é apresentada a estrutura do trabalho, com comentários sobre como os capítulos se relacionam.

1.1 Introdução

A busca pela qualidade e eficiência em qualquer área exige comprometimento, inovação e capacidade de adaptação. Isso não é diferente na indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO). A transição do desenho manual para o desenho assistido por computador só ocorreu devido às ferramentas e tecnologias inovadoras da época, ao comprometimento em desenvolvê-las e à adaptação e empenho dos projetistas para aprender a utilizá-las e incorporá-las em suas atividades.

Atualmente, o setor passa por outra grande transformação, desta vez ainda mais disruptiva do que a anterior. Agora, a transição é do CAD (*Computer Aided-Design*) para o BIM (*Building Information Modeling*). Certamente, o CAD tende a permanecer relevante por bastante tempo, especialmente devido ao fato de que uma mudança dessa magnitude ocorre de forma gradual e envolve diversos desafios, desde a adaptação dos processos do setor até a capacitação dos profissionais.

Eastman *et al.* (2011) afirmam que o BIM move a indústria em direção a fluxos de trabalho integrados e interoperáveis, baseados em um processo coordenado e colaborativo, que busca maximizar os recursos da computação e a agregação de informações. Em essência, conforme a definição apresentada por Succar (2009), o BIM é um conjunto de processos, políticas e tecnologias que formam uma metodologia para gerenciar os dados de uma instalação ao longo de todo o seu ciclo de vida (Penttilä, 2006).

O *Building Information Model* é o principal produto dessa metodologia, definido como uma representação digital da instalação, rica em dados, paramétrica e baseada em objetos (AGCA, 2005; NIBS, 2007). Comparando com o CAD, uma das principais diferenças entre as abordagens refere-se à quantidade de informações produzidas. Enquanto os desenhos 2D convencionais são formados por linhas que descrevem essencialmente a geometria e o posicionamento, os modelos BIM são formados por objetos que carregam significado e diversos tipos de dados associados, como informações do fabricante, dados de manutenção, data de compra, data de instalação, entre outros. Isso representa uma grande vantagem, pois auxilia na tomada de decisões eficientes e efetivas ao longo do ciclo de vida do ativo.

Em função desse e de outros benefícios, a metodologia BIM passou a ser exigência em diversas partes do mundo, tanto na esfera pública quanto na privada. Uma referência amplamente utilizada para orientar o processo de implementação do BIM são os níveis de maturidade/capacidade BIM propostos por Succar (2009b). Esses níveis variam desde o estágio

pré-BIM (ponto de partida), caracterizado por um baixo nível de colaboração, fluxo de trabalho linear e falta de interoperabilidade, até o estágio 3, caracterizado por um elevado nível de colaboração, integração e modelos interdisciplinares ricos em dados mantidos de forma colaborativa.

Este trabalho aborda dois tópicos de suma importância que buscam viabilizar o trabalho colaborativo e a interoperabilidade no contexto do BIM: o LOD (*Level of Development*) e o IFC (*Industry Foundation Classes*), respectivamente. A estrutura LOD foi proposta em 2008 pelo AIA (*American Institute of Architects*), consistindo em cinco níveis de desenvolvimento (100-500) definidos para permitir que os participantes do projeto especifiquem até que ponto os elementos do modelo devem ser desenvolvidos e o quanto as informações são confiáveis para serem utilizadas (AIA, 2013; Bolpagni, 2016). Essa abordagem tornou-se amplamente referenciada em diversos documentos BIM de todo o mundo, especialmente após o BIMForum iniciar a publicação da Especificação LOD baseada nas definições de LOD do AIA (Abualdenien; Borrmann, 2022).

Em relação ao esquema IFC, conforme descrito na ISO 16739-1 (2018), trata-se do padrão internacional aberto para descrever os dados do BIM que são trocados e compartilhados entre diferentes softwares utilizados pelos diversos integrantes do setor da indústria da construção e gerenciamento de instalações. Até a versão 4, o IFC tinha como foco principal a representação de edifícios (Borrmann *et al.*, 2019). A partir de 2010, em resposta à crescente demanda da indústria, iniciaram-se os esforços para ampliar a abrangência do IFC para obras de infraestrutura (Chipman, 2016). Esses esforços estão sendo concretizados no IFC 4.3, que inclui definições para a descrição de instalações de infraestrutura, como pontes, estradas e ferrovias (buildingSMART, 2023).

Diante da necessidade de aprimorar os procedimentos para especificar de forma clara as informações necessárias e estabelecer mecanismos eficazes para verificar os dados fornecidos, a presente pesquisa busca desenvolver uma abordagem destinada à especificação e verificação das informações em modelos IFC de pontes. Esta abordagem tem como objetivo facilitar a comunicação, tornando claro quais informações devem ser fornecidas e como, e, ainda, assegurar a disponibilidade e a integridade dos dados do modelo.

1.2 Justificativa

É fundamental garantir que, quando necessário, as informações estejam disponíveis e corretas em um modelo digital (BIM), seja durante a construção ou anos após a conclusão das obras.

Porém, na prática, identifica-se a necessidade de uma estrutura clara para especificar quais informações devem ser fornecidas, uma vez que os níveis de desenvolvimento (LOD) são bastante genéricos, tornando-os suscetíveis a interpretações variadas. Cada projetista pode ter uma compreensão própria sobre as informações que cada nível deve conter. Diante disso, foi estabelecido o conceito de *Level of Information Need* (NATSPEC, 2022; UK BIM Framework, 2022). Esse termo está associado a conceitos e princípios para definir a extensão e a granularidade das informações necessárias para atender a um determinado propósito. Um dos principais objetivos em especificá-lo é evitar o fornecimento excessivo de informações (ISO 19650-1, 2018).

Além disso, busca-se promover a utilização do IFC como meio para a troca de dados em modelos BIM. A utilização desse esquema é fundamental para a interoperabilidade e para garantir fluxos de trabalho colaborativos, o que permite que os projetistas trabalhem com as ferramentas desejadas, ao mesmo tempo que conseguem trocar e compartilhar informações.

Assim, no presente trabalho, desenvolveu-se uma abordagem baseada na utilização de dois aplicativos, ambos desenvolvidos em Delphi. Um dos aplicativos destina-se à especificação das informações a serem fornecidas, enquanto o outro é utilizado para verificar o modelo com base nos critérios estabelecidos na especificação.

A escolha de direcionar a abordagem desenvolvida para pontes foi fundamentada em diversos fatores, incluindo a importância significativa desse tipo de construção para a economia e locomoção, o considerável custo associado à sua construção e à necessidade contínua de atividades de monitoramento. A adoção do esquema IFC visou assegurar que as informações de projeto não se percam, uma vez que não está sujeito a restrições associadas a versões específicas de software.

A ausência de dados de projeto em muitas pontes antigas representa um grande desafio para a avaliação adequada de desempenho. A obtenção dessas informações pode ser viável considerando as normas vigentes na época de construção, desde que haja acesso a esse dado histórico. Contudo, continuar operando dessa maneira não parece ser o mais apropriado. O gerenciamento eficiente de um ativo demanda informações precisas e facilmente acessíveis. A

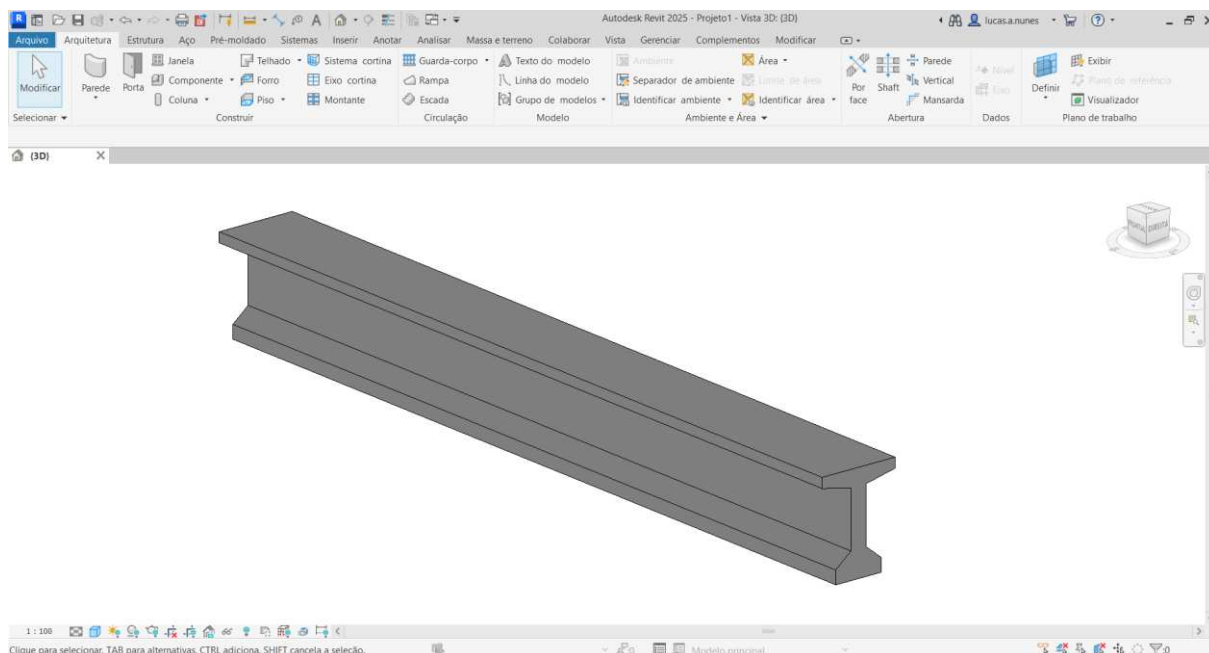
implementação dos processos BIM certamente impulsionará o setor da AECO a novos padrões de qualidade, mas esse avanço somente será possível com o comprometimento, inovação e capacidade de adaptação de todas as partes envolvidas.

1.2.1 Análise de dados no arquivo .ifc com o auxílio de visualizadores

Em meio a tantas ferramentas disponíveis capazes de ler arquivos .ifc, o desenvolvimento de uma ferramenta do zero carece de uma justificativa sólida. Nesse sentido, é importante considerar inicialmente a forma como os arquivos .ifc podem ser verificados. Após a análise de documentos BIM, constatou-se que é comum utilizar visualizadores para uma análise preliminar dos arquivos .ifc, inclusive realizando verificações por amostragem.

Tendo isso em vista, foram testados os visualizadores BIMCollab, usbim.browser, Navisworks e Solibri para verificar as informações de uma viga modelada no Revit (Figura 1.1), a qual tem o concreto como material associado. O teste concentrou-se na verificação das propriedades do concreto, ou seja, as propriedades do material.

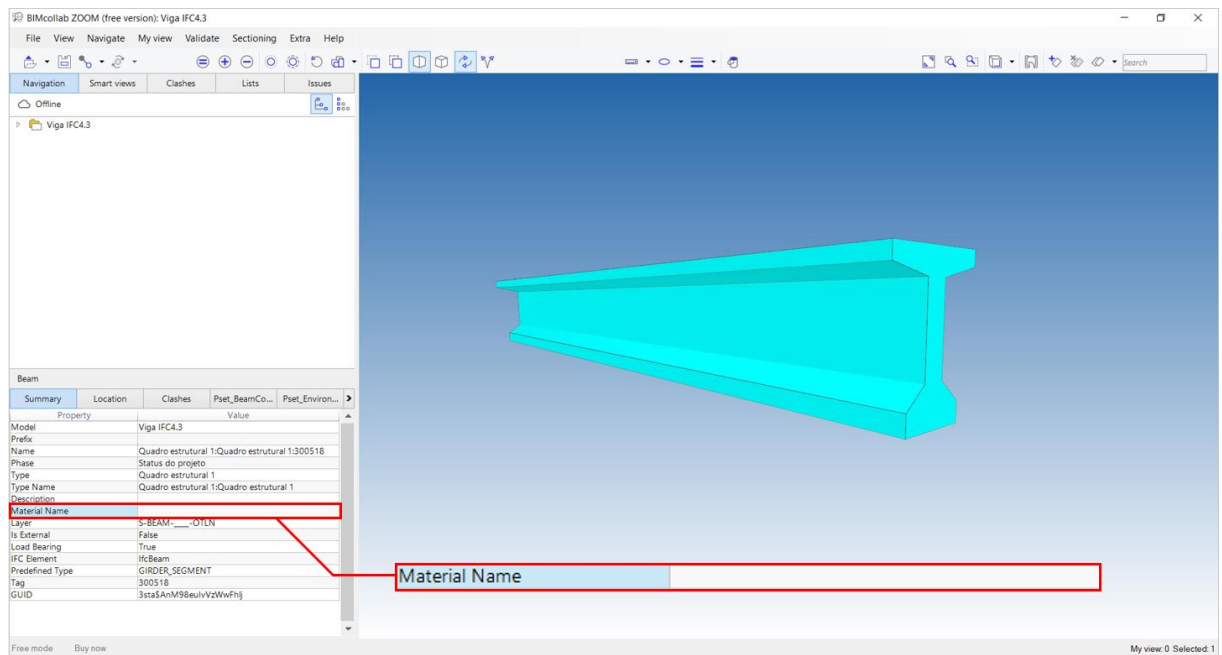
Figura 1.1 – Viga modelada no software Revit



Fonte: O autor (2024).

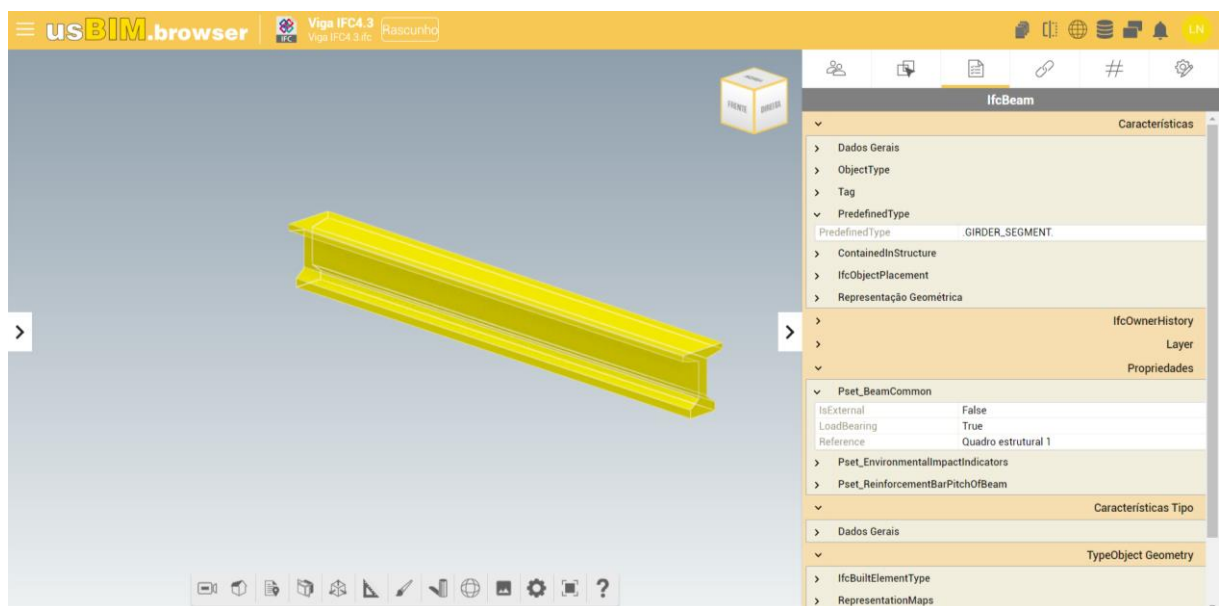
Inicialmente, o arquivo foi exportado na versão IFC4.3 experimental do Revit e em seguida foi aberto nos visualizadores. Na Figura 1.2, Figura 1.3, Figura 1.4 e Figura 1.5, observa-se, respectivamente, o arquivo aberto no BIMCollab, usBIM.browser, Navisworks e Solibri.

Figura 1.2 – Arquivo .ifc versão 4.3 aberto no BIMCollab



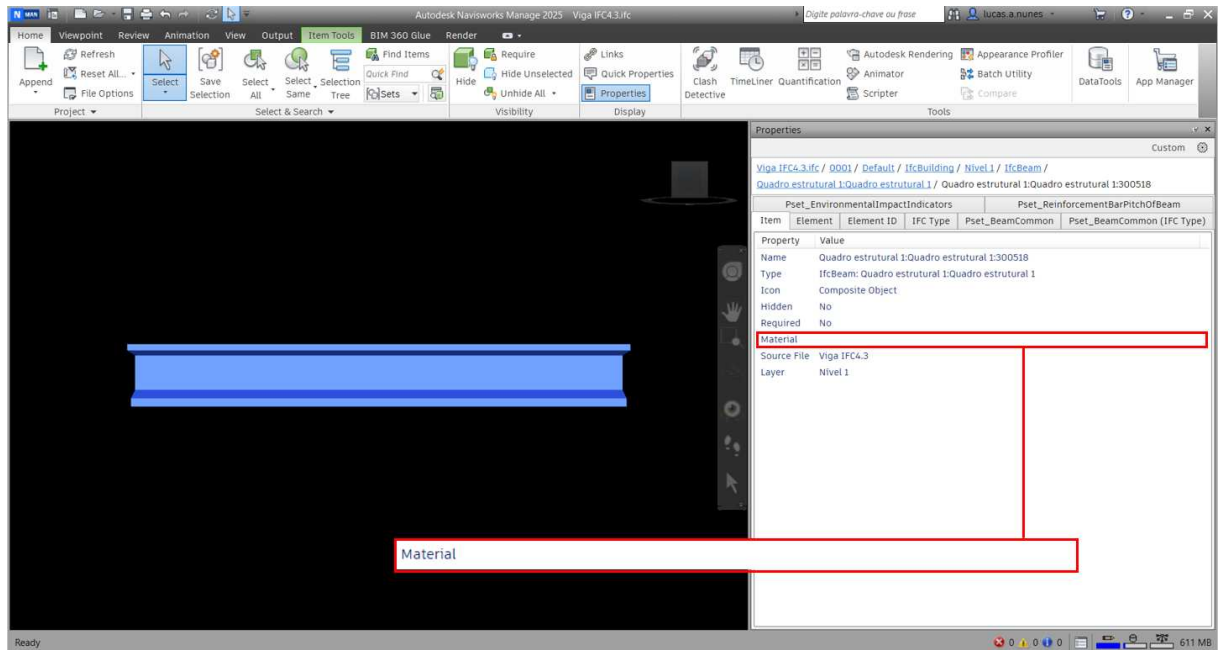
Fonte: O autor (2024).

Figura 1.3 – Arquivo .ifc versão 4.3 aberto no usBIM.browser



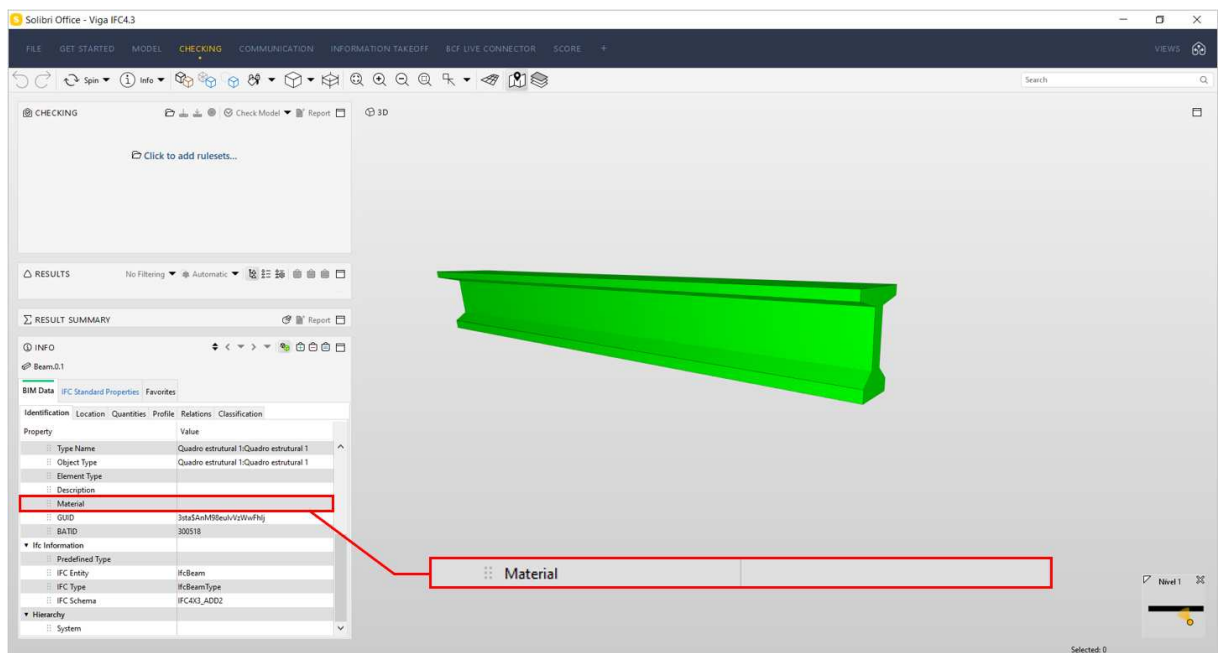
Fonte: O autor (2024).

Figura 1.4 – Arquivo .ifc versão 4.3 aberto no Navisworks



Fonte: O autor (2024).

Figura 1.5 – Arquivo .ifc versão 4.3 aberto no Solibri



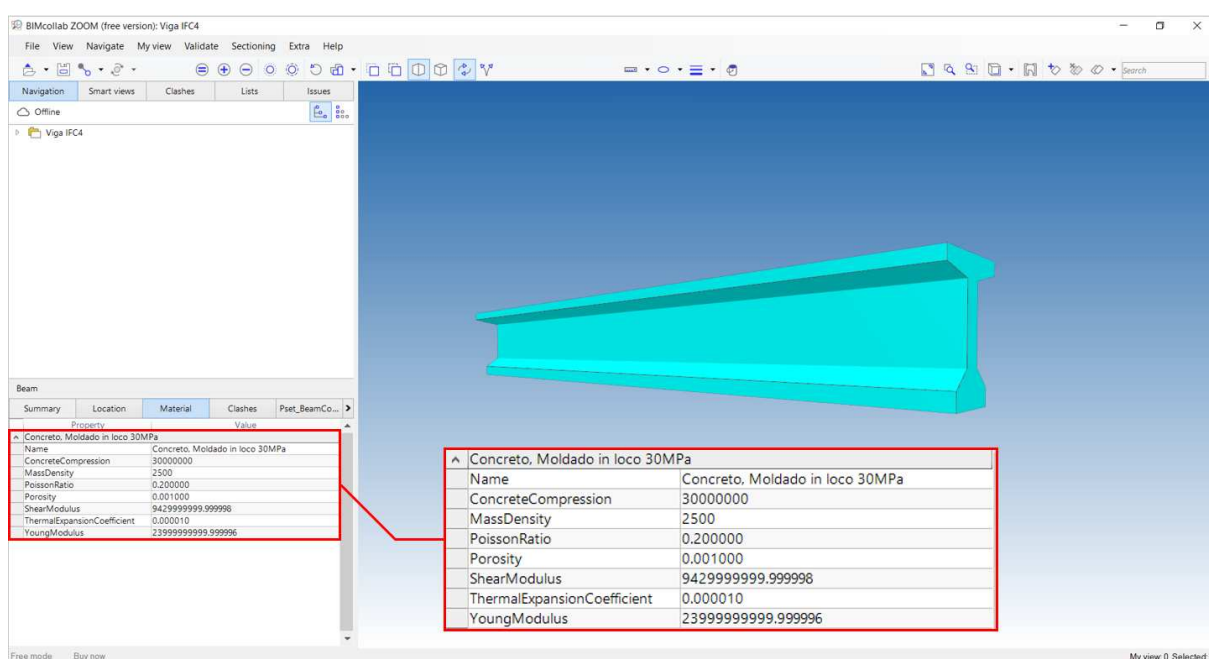
Fonte: O autor (2024).

Nenhum dos visualizadores utilizados conseguiu exibir as informações de material, apesar de estarem corretamente inseridas no arquivo .ifc, como verificado manualmente por meio de um editor de textos. Isso sugere uma limitação. Em uma segunda análise, a viga

modelada foi exportada na versão IFC 4 (vista de referência) e o arquivo .ifc foi novamente aberto nos visualizadores para novas verificações.

No Navisworks, as informações de material continuaram não sendo exibidas. No usBIM.browser e no Solibri, foi apresentado o nome do material, mas as suas propriedades não foram mostradas. Por sua vez, no BIMCollab, o nome e as propriedades foram identificadas, como pode ser notado na Figura 1.6. Percebe-se que agora uma guia específica chamada “material” está presente.

Figura 1.6 – Arquivo .ifc versão 4 aberto no BIMCollab



Fonte: O autor (2024).

O motivo pelo qual o BIMCollab foi capaz de ler as propriedades do material em um arquivo e no outro não está relacionado à codificação das informações. Ao abrir os arquivos .ifc em um editor de textos e compará-los, observou-se que no arquivo exportado na versão IFC 4, a definição de material (*IfcMaterial*) foi associada diretamente ao elemento (neste caso, uma instância de *IfcBeam*). Já no arquivo exportado na versão IFC 4.3, o material foi associado considerando a sua aplicação em perfis. Isso significa que uma definição de perfil, composta por um tipo de material, foi vinculada ao elemento.

Mesmo quando o BIMCollab foi capaz de apresentar as propriedades do material, é importante destacar que a unidade associada ao valor da propriedade não é informada (Figura 1.6). Isso pode gerar imprecisão e resultar na necessidade de deduzir a unidade associada ao valor, o que não é ideal em termos de clareza e precisão. Diante desses aspectos, percebem-se

limitações nos visualizadores, seja na falta de capacidade em ler as informações do arquivo, como foi constatado na maioria dos testes, ou na apresentação das informações sem a precisão necessária.

O desenvolvimento do aplicativo visa abordar essas lacunas, (1) identificando os dados independentemente da forma como foram codificados, por exemplo, seja associando materiais considerando perfis (vigas), camadas (lajes) ou associação direta, e (2) fornecendo informações precisas, como a unidade associada ao valor da propriedade. Para isso, é necessário implementar as entidades do IFC que contêm essas informações, permitindo que o aplicativo as leia durante o processo de leitura do arquivo.

Em oposição ao desenvolvimento do aplicativo, também é possível considerar a utilização do padrão IDS (*Information Delivery Specification*). Esse padrão foi concebido com o propósito de definir as entregas de informações e servir como um recurso para validar o arquivo .ifc. Ao criar uma IDS, é necessário estabelecer como as informações serão fornecidas. No contexto do IFC, essa não é uma tarefa simples, uma vez que o IFC não segue uma estrutura unidirecional. A codificação das informações pode variar de acordo com o processo de modelagem e as características geométricas dos elementos, como no caso da associação de materiais aos elementos. Além disso, como mencionado anteriormente, a incapacidade de algumas ferramentas em apresentar propriedades de materiais pode invalidar a análise do arquivo .ifc por meio da IDS.

1.3 Objetivos

O objetivo geral desta pesquisa consistiu no desenvolvimento de uma abordagem para a especificação e verificação do nível de informação em modelos IFC de pontes. Os seguintes objetivos específicos foram propostos.

- Contribuir para o entendimento do LOD e analisar as mudanças que estão ocorrendo em relação ao seu entendimento devido à inserção de novos conceitos.
- Considerando o processo de especificação das informações necessárias, definir elementos que devem ser fornecidos para promover trocas de informações eficientes e a melhoria da qualidade da comunicação.
- Estabelecer um recurso que permita encontrar as informações no arquivo fornecido em formato .ifc.

- Propor uma estrutura para a especificação das informações necessárias, organizando e categorizando essas informações conforme o tipo de dado que representam, com o objetivo de promover uma gestão eficiente de dados.

1.4 Estrutura da dissertação

Este trabalho foi estruturado em capítulos, iniciando com uma introdução geral. Os três capítulos seguintes são compostos por artigos, enquanto o último capítulo engloba as considerações finais. Os artigos estão interconectados, sendo que o Artigo 1 apresenta a abordagem proposta, enquanto os Artigos 2 e 3 detalham o desenvolvimento das ferramentas necessárias para a sua implementação.

O Artigo 2 aborda a proposta de verificação automática de dados IFC de modelos de pontes, a qual é possibilitada pela ferramenta BDCheck (*Bridge Data Checker*). Já o Artigo 3 apresenta o estudo do LOD, culminando no desenvolvimento da ferramenta de especificação de dados, denominada BDSpec (*Bridge Data Specification*). O uso conjunto das ferramentas desenvolvidas viabiliza a abordagem integrada proposta.

É interessante notar a evolução dos termos ao longo do trabalho. No Artigo 1, falava-se em uma lista de requisitos, enquanto no Artigo 3 optou-se pelos termos "arquivo de requisitos" ou "arquivo de especificação das informações necessárias". Essa mudança reflete a compreensão de uma especificação mais alinhada ao propósito de uso das informações. Assim, cada especificação inserida no arquivo de requisitos possui um propósito exclusivo.

É relevante ressaltar que, ao final de cada capítulo, são incluídas as referências bibliográficas utilizadas, de modo que não há uma seção específica para tal no final do trabalho. Além disso, devido à interconexão entre os temas abordados, os capítulos compartilham algumas referências bibliográficas.

Referências

ABUALDENIEN, J.; BORRMANN, A. Levels of detail, development, definition, and information need: a critical literature review. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 27, p. 363–392, 19 abr. 2022.

AGCA. **The Contractor's Guide to BIM**. Associated General Contractors of America, 2005.

AIA. **AIA Document G202™–2013, Project Building Information Modeling Protocol Form**. The American Institute of Architects, 2013.

BOLPAGNI, M. **The Many Faces of ‘LOD’**. Disponível em: <<https://www.bimthinkspace.com/2016/07/the-many-faces-of-lod.html>>. Acesso em: 25 fev. 2023.

BORRMANN, A. *et al.* **The IFC-Bridge project – Extending the IFC standard to enable high-quality exchange of bridge information models**. European Conference on Computing in Construction. **Anais...** 10 jul. 2019.

BUILDINGSMART. **IFC Specifications Database**. Disponível em: <<https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/>>. Acesso em: 7 out. 2023.

CHIPMAN, T. **Bridge Information Model Standardization**. Federal Highway Administration, 2016. v. II.

EASTMAN, C. *et al.* **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. 2º ed. John Wiley & Sons, 2011.

ISO 16739-1:2018. **Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries — Part 1: Data schema**. 2018.

ISO 19650-1:2018. **Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles**. 2018.

NATSPEC. **NATSPEC National BIM Guide**. Construction Information Systems Limited, 2022.

NIBS. **National Building Information Modeling Standard**. National Institute of Building Sciences, 2007.

PENTTILÄ, H. Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression. **ITcon Vol. 11, Special issue The Effects of CAD on Building Form and Design Quality**, pg. 395-408, <http://www.itcon.org/2006/29>, v. 11, n. 29, p. 395–408, 12 jun. 2006.

SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, p. 357–375, 2009.

SUCCAR, B. Building Information Modelling Maturity Matrix. Em: **Handbook of Research on Building Information Modeling and Construction Informatics: Concepts and Technologies**. Information Science Reference, 2009b.

UK BIM FRAMEWORK. **ISO 19650 Guidance D: Developing information requirements**. 2022.

CAPÍTULO 2

Proposição de uma metodologia para definição e verificação do nível de informação em modelos BIM de pontes

Resumo

Em função dos benefícios proporcionados pelo BIM (*Building Information Modeling*), sua aplicação para o desenvolvimento de projetos de pontes tem sido alvo de estudos. Nesse sistema de trabalho, o modelo do empreendimento é construído virtualmente e é rico em informações. Devido ao elevado número de dados, desenvolveu-se um recurso que permitisse aos projetistas especificar o grau de desenvolvimento das informações do modelo. Logo, introduziu-se o LOD (*Level of Development*), que consiste em uma estrutura de níveis de requisitos de informações. Entretanto, há divergências quanto à utilização desse conceito, o que prejudica o seu emprego. Devido às incertezas associadas ao termo, este artigo tem como objetivo propor uma metodologia preliminar para a definição e verificação do nível de informação em modelos BIM de pontes. Esta metodologia preliminar se baseia em um algoritmo de varredura para checar o preenchimento das informações do modelo. Como base para esta metodologia, primeiramente apresenta-se um breve estudo acerca do LOD, do uso de regras para verificação de modelos e do IFC (*Industry Foundation Classes*). Em seguida, apresentam-se os princípios para o desenvolvimento da metodologia proposta, que tem como base o IFC. O IFC fornece uma estrutura padrão para a representação das informações referentes aos elementos do modelo, sendo este o princípio primordial para o funcionamento do algoritmo proposto. Desse modo, torna-se necessário o mapeamento das informações baseado no IFC, ou seja, o algoritmo deverá ler o arquivo .ifc do modelo da ponte e identificar se as informações requisitadas foram definidas adequadamente. Neste trabalho, é proposto o algoritmo de varredura das informações, dando enfoque especial às etapas de definição das informações necessárias e mapeamento dos parâmetros IFC correspondentes. Assim, a título de representação, expõe-se como as informações dos elementos de pontes necessárias para análise estrutural são representadas no arquivo .ifc.

Palavras-chave: BIM; Pontes; IFC; Nível de Desenvolvimento

Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas (CBPE), 2023.

Este artigo foi enviado em 3 de março de 2023 e apresentado em 12 de maio de 2023 no CBPE.

Aceito em 9 de março de 2023.

Trabalhos apresentados no CBPE 2023: ISBN 978-65-00-66224-5.



2.1 Introdução

A forma de projetar e construir está em constante mudança, e os métodos tradicionais estão sendo substituídos por novas práticas, com o uso intenso do computador. Atualmente, o BIM (*Building Information Modeling*) é um dos temas mais importantes para a indústria da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO), cuja relevância decorre dos inúmeros benefícios proporcionados pela aplicação de seus conceitos, como a melhoria da qualidade da construção, redução de desperdícios, custos e retrabalhos.

Succar (2009, p. 357) descreve o BIM como um “conjunto de políticas, processos e tecnologias integrativas” que formam uma metodologia para gerenciar os dados do empreendimento durante todo o seu ciclo de vida. Com o BIM, o modelo da construção é desenvolvido virtualmente, sendo composto por diversos objetos que representam os elementos de construção. Cada objeto carrega diversos tipos de dados, que são inseridos pelos membros das equipes de projeto, conforme os objetivos do empregador.

Em um projeto, a contratante ou a sua representante pode utilizar o LOD (*Level of Development*) para auxiliar na definição de quais informações a contratada (equipe de projeto) deve fornecer para que os usos pretendidos com o modelo digital possam ser alcançados (Van Berlo; Bomhof, 2014). Entretanto, existem inconsistências quanto à forma de utilização do LOD, o que prejudica o seu valor. Assim, o presente trabalho tem como principal objetivo apresentar uma proposta para definição e verificação do nível de informação de modelos BIM de pontes.

À vista disso, propõe-se uma metodologia que possa ajudar na definição de quais informações devem ser fornecidas em cada etapa do projeto pela equipe de projeto. Simplificadamente, a partir da metodologia, a contratante seleciona em uma interface (similar a um *checklist*) quais informações a contratada deve fornecer para uma etapa específica do projeto tendo em vista os usos determinados para o modelo. Além da parte de definição das informações, a proposta contempla o processo de verificação dos dados do modelo a partir de um algoritmo de varredura, baseando-se na análise do arquivo .ifc.

Neste artigo, focou-se em duas etapas da metodologia: 1) definição das informações e 2) mapeamento das informações com base no IFC. Para tanto, é considerado o modelo BIM de uma ponte a ser utilizado para análise estrutural. Desse modo, os seguintes propósitos integram o escopo deste trabalho:

- Definir as propriedades do concreto necessárias para análise estrutural.
- Mapear as propriedades com base no IFC.
- Demonstrar como as informações são representadas no arquivo .ifc do modelo da ponte.
- Abrir o arquivo .ifc da ponte em um software e demonstrar que as propriedades definidas para o concreto constam nos elementos do modelo.

2.2 Metodologia

Para que a metodologia proposta possa ser aplicada, realiza-se o processo de definição das informações necessárias que devem constar no modelo BIM, e mapeamento dessas informações com base no IFC, possibilitando o processo de verificação.

Neste artigo, buscou-se as informações necessárias do concreto para a análise estrutural de elementos de pontes e realizou-se o mapeamento dessas informações a partir de consulta à documentação do IFC, disponível pela *buildingSMART International* (bSI).

Além de mapear as informações, verificou-se como elas são representadas no arquivo .ifc através do estudo de um arquivo de uma ponte que está sendo desenvolvido manualmente por um dos autores em um editor de texto. O arquivo possui instâncias de entidades que descrevem os componentes da ponte (como longarinas, transversinas, tabuleiro e pilares), suas propriedades, relacionamentos e dados geométricos. Ressalta-se que o arquivo está sendo escrito com base na documentação 4.3.2.0 do IFC, pois essa é a versão que engloba obras de infraestrutura.

Ao estudar o arquivo .ifc, teve-se como foco compreender como as propriedades listadas são associadas ao material (concreto) e como o material é associado aos elementos da ponte. Para isso, foi analisado este processo para as três longarinas que compõem o arquivo do modelo.

Após o estudo da representação das propriedades no arquivo .ifc, utilizou-se o *BIMCollab*, que se trata de um visualizador de modelos BIM gratuito, para ler e representar graficamente o modelo digital.

Com o modelo aberto no *BIMCollab*, demonstrou-se que as longarinas, definidas pelas instâncias de *IfcBeam*, são compostas do material concreto e que as propriedades mapeadas deste material estavam descritas conforme definidas no arquivo .ifc.

Baseando-se na forma de representação das propriedades do concreto no arquivo .ifc e como se define o tipo de material para os elementos do modelo BIM, descreveu-se os princípios para o funcionamento do algoritmo de varredura.

2.3 Desenvolvimento

2.3.1 LOD – *Level of Development*

Em 2005, a Vico Software publicou a primeira especificação LoD (*Level of Detail*), apresentando um conjunto de níveis para descrever informações de objetos BIM (Abualdenien; Borrmann, 2022). Bedrick (2008, p. 1, tradução nossa) definiu o LoD como: “descrições das etapas pelas quais um elemento BIM pode progredir logicamente do nível mais baixo de aproximação conceitual ao mais alto nível de precisão representacional”. Para descrever essa progressão, cinco níveis foram estabelecidos, do conceitual ao executado (Bedrick, 2008).

O AIA (*American Institute of Architects*) se baseou nas definições de LoD da VicoSoftware e em 2008, por meio do documento *E202 2008 Building Information Modeling Protocol Exhibit*, introduziu o LOD - *Level of Development* (Abualdenien; Borrmann, 2022), definindo-o como “o nível de completude para o qual um elemento do modelo é desenvolvido” (AIA, 2008, p. 2, tradução nossa).

Em 2013, a definição foi atualizada: “O Nível de Desenvolvimento (LOD) descreve os dados dimensionais, espaciais, quantitativos, qualitativos, e outros dados mínimos incluídos em um elemento do modelo para apoiar os usos autorizados associados a tal LOD” (AIA, 2013, p. 11, tradução nossa).

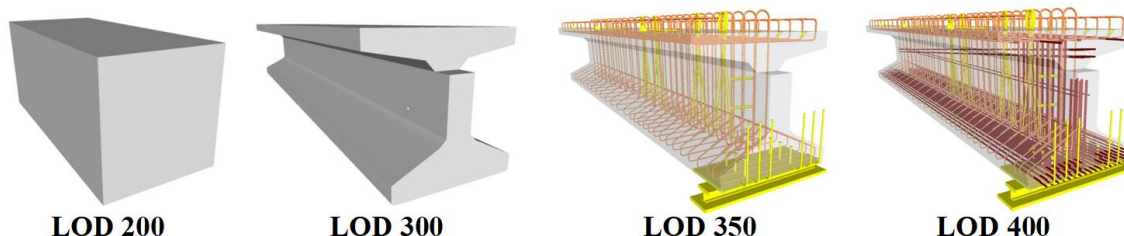
No guia AIA (2013) é explicada a diferença entre *Level of Detail* e *Level of Development*, a partir do exemplo de uma luminária. Descreve-se, no exemplo, que uma luminária muito detalhada pode ser extraída da biblioteca de um software e colocada no modelo apenas para a reserva de espaço. Entretanto, esse elemento possui diversas outras informações (como o número do modelo e o nome do fabricante). Isto significa que a luminária possui um *Level of Detail* elevado, mas o seu *Level of Development* é baixo.

A estrutura LOD do AIA é dividida em cinco níveis múltiplos de 100 (LOD 100, LOD 200, LOD 300, LOD 400 e LOD 500). Os requisitos de conteúdo para cada nível LOD, bem como a associação dos níveis a usos autorizados típicos, como estimativa de custos, coordenação, entre outros, são demonstrados no guia AIA (2013).

Com o intuito de difundir suas definições sobre o LOD, o AIA permitiu que o BIMForum, organização norte-americana, as utilizasse (AIA, 2013). Assim, desde 2013, esse grupo publica com frequência anual o documento denominado *LOD Specification*, que contém ilustrações das características que os elementos de construção podem apresentar em cada nível

LOD, como demonstrado na Figura 2.1. Observa-se que o BIMForum incluiu um novo nível denominado LOD 350.

Figura 2.1 – Longarina de concreto pré-moldada – LOD



Fonte: Adaptada de BIMForum (2021).

Os estudos realizados por Bolpagni e Ciribini (2016) e Abualdenien e Borrmann (2022) apontam inconsistências e desvios sobre o LOD em diversas especificações de diferentes países. Em ambos os trabalhos, são apresentadas especificações de países que se basearam nos documentos do AIA e do BIMForum, implementando algumas variações, e especificações nas quais foram propostos novos termos.

Fato é que os desvios gerados pelas diferentes especificações atrapalham a difusão do LOD. Desses desvios, de acordo com os apontamentos feitos por Bolpagni e Ciribini (2016) e Abualdenien e Borrmann (2022), é possível citar:

- **Nível de aplicação do LOD:** em algumas especificações considera-se que o LOD deve ser atribuído ao modelo e em outras aos elementos do modelo individualmente. Ressalta-se que o BIMForum (2021) afirma que não existe um “modelo LOD”, dado que o ritmo de desenvolvimento dos elementos do modelo ocorre em taxas diferentes. Dessa forma, o modelo é composto por elementos em diferentes LODs.
- **Associação com as etapas do projeto:** determinadas especificações associam diretamente os níveis LOD às etapas do projeto (por exemplo, como se todos os elementos do modelo tivessem que atingir LOD 350 em uma etapa específica). Esse caso é similar à exigência de um “modelo LOD” e, da mesma forma, não faz sentido, visto que os elementos podem apresentar LODs distintos em uma mesma etapa. Destaca-se que o AIA (2013) afirma que não há correlação dos níveis LOD com a progressão das etapas do projeto.
- **Siglas iguais:** uso do mesmo acrônimo para termos com significados diferentes (LOD = *Level of Detail*, *Level of Development* e *Level of Definition*).

- Mudança de significado: originalmente, o *Level of Detail* se referia à confiabilidade de informações geométricas e não geométricas; todavia, suas definições recentes indicam que o seu uso está mais associado à descrição de atributos geométricos.

Devido às inconsistências resultantes das diversas especificações e ao alto nível de generalidade do LOD, cada profissional acaba desenvolvendo sua própria interpretação sobre o que um determinado LOD representa e quais informações são necessárias no modelo (Van Berlo; Bomhof, 2014). Tais inconsistências, prejudicam a comunicação e, consequentemente, o trabalho colaborativo, podendo acarretar erros de projeto, despesas adicionais e atrasos (Abualdenien; Borrmann, 2019).

À vista disso, faz-se necessário um método simples que permita à contratante especificar quais informações a contratada deve fornecer durante o desenvolvimento do projeto. Ressalta-se que o LOD inclui dados gráficos e não-gráficos, mas a metodologia proposta compreende somente dados não-gráficos, como as propriedades dos materiais.

2.3.2 Verificação de modelos por meio de regras

Os sistemas baseados em regras impõem ao modelo BIM condições ou restrições para obter resultados como “PASS”, “FAIL” ou “WARNING” (Nawari, 2012). As regras podem ser criadas para verificar o atendimento às exigências de códigos de construção, como para checar a largura das saídas de emergência; para verificar a distância mínima entre dois elementos; para checar o preenchimento dos dados necessários; para detectar interferências entre os elementos do modelo; entre outros objetivos (Solihin; Eastman, 2015).

Solihin e Eastman (2015) destacam a importância do IFC para o desenvolvimento de sistemas de verificação, pois o esquema fornece uma linguagem padrão para representar os dados do modelo. É benéfico, portanto, que diversos parâmetros que descrevem as propriedades de elementos de construção, como a altura dos degraus de uma escada, sejam explicitamente definidos em IFC e possam ser empregados diretamente para a verificação de regras (Eastman *et al.*, 2009).

2.3.3 IFC – Industry Foundation Classes

Um dos pilares da metodologia BIM é a interoperabilidade, que consiste na capacidade de dois ou mais aplicativos trocarem informações e utilizá-las (Eastman, *et al.* 2011). Para tanto,

há a necessidade de um esquema de dados neutro e abrangente. O IFC destaca-se como uma solução nesse sentido.

O desenvolvimento do IFC iniciou em 1994, quando um conjunto de empresas formou a *Industry Alliance for Interoperability* – IAI. Depois de abrir a adesão a todas as partes interessadas, em 1997, o IAI trocou o seu nome para *International Alliance for Interoperability* e, anos depois, em 2005, passou a se chamar *buildingSMART International* (Eastman, *et al.* 2011).

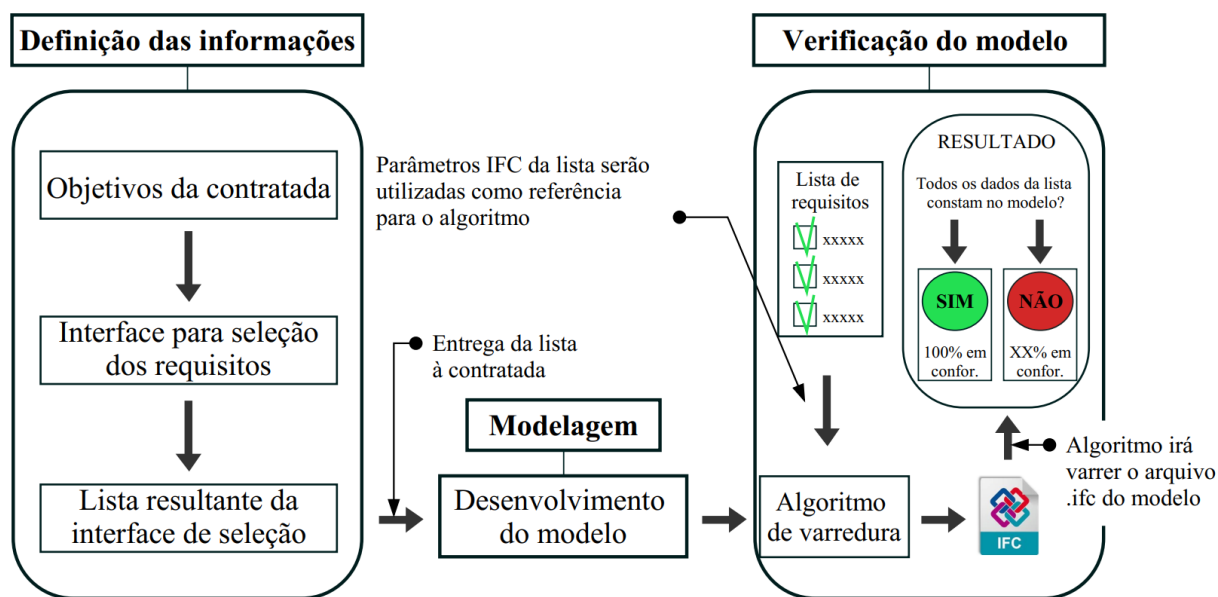
A primeira versão do IFC, versão 1.0, foi lançada no ano de 1996 (Khemlani, 2004) e, atualmente, a última versão oficial é a 4.3.2.0 (buildingSMART, 2023). Até a versão 4, o desenvolvimento do IFC foi focado em edifícios; mas no início da década passada, com o intuito de estender o IFC às obras de infraestrutura, a *buildingSMART* criou a *Infrastructure Room* (Borrmann, *et al.* 2019).

A partir disso, uma série de projetos, como o *IfcRail*, *IfcBridge*, *IfcTunnel* e *IfcRoad*, foram iniciados para promover as extensões necessárias no IFC (Borrmann, *et al.* 2019). A versão 4.3.2.0 do IFC contempla a estrutura de dados de pontes e de outras obras de infraestrutura (buildingSMART, 2023).

2.3.4 Metodologia para a definição e verificação do nível de informação em modelos

Apresenta-se neste tópico os princípios da metodologia preliminar para a definição e verificação do nível de informação em modelos BIM. A metodologia baseia-se em um algoritmo de varredura para checar se as informações requisitadas constam no modelo. Observa-se na Figura 2.2 o fluxograma da metodologia, considerando o processo de modelagem de uma construção em uma determinada etapa do projeto.

Figura 2.2 – Fluxograma da metodologia



Fonte: O autor (2024).

Observa-se que o fluxograma possui três etapas principais: definição das informações, modelagem e verificação dos dados do modelo.

- **Definição das informações:** etapa na qual a contratante define quais informações devem ser inseridas no modelo BIM. Para tanto, deve-se definir quais são os seus objetivos, ou melhor, para que o modelo BIM será utilizado na fase em que o projeto se encontra. Ressalta-se que existem diferentes usos do modelo. A PennState (2023) lista mais de 20, dos quais inclui-se a análise de desempenho estrutural. Ao definir os seus objetivos, a contratante deve selecionar em uma interface as informações necessárias para que os objetivos pretendidos sejam alcançados. O resultado da interface consiste em uma lista de requisitos com os dados selecionados associados aos parâmetros IFC correspondentes.
- **Modelagem:** a lista resultante da interface deve ser entregue à contratada (equipe de projeto) para o desenvolvimento do modelo. Ao final da modelagem, deve-se efetuar o processo de verificação.
- **Verificação dos dados do modelo:** para a verificação dos dados, utiliza-se o algoritmo de varredura. Ao varrer o arquivo .ifc do modelo, o algoritmo identificará se as informações requisitadas foram definidas. Isso será possível, uma vez que os parâmetros IFC da lista de requisitos (lista resultante da interface) serão utilizadas como referência para o algoritmo. Como resultado, deverá ser emitido um relatório com análise

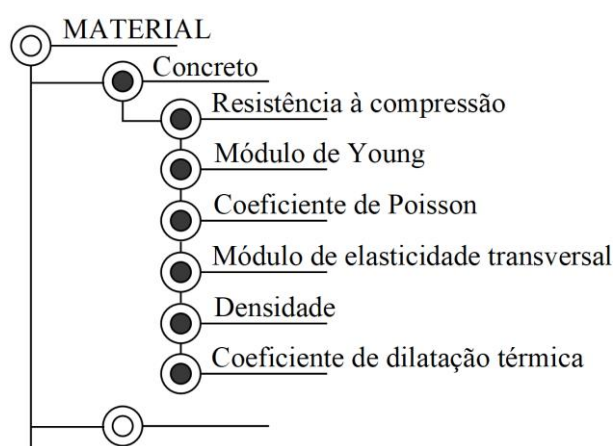
estatística da operação realizada. Caso todas as informações tenham sido inseridas, o resultado será que o modelo está 100% em conformidade; na hipótese de dados ausentes, deverá ser relatado porcentagem inferior a 100%.

A localização das informações no arquivo .ifc do modelo por meio de um algoritmo é viável, pois esse esquema de dados constitui um padrão aberto para a representação de dados de elementos de construção. Assim, é necessário programar o algoritmo para buscar as informações de acordo com os parâmetros que as definem. Com esse intuito, faz-se necessário o mapeamento das informações com base na documentação do IFC.

2.3.5 Metodologia preliminar proposta aplicada à análise estrutural de pontes

Faz parte do escopo deste trabalho demonstrar o processo de definição e mapeamento de informações com base no IFC. As informações mapeadas devem estar dispostas na interface que foi mencionada anteriormente. O desenvolvimento da interface é objetivo final da metodologia e será efetuado na linguagem de programação Delphi. De todo modo, neste artigo, será demonstrado como as informações serão organizadas na interface. Assim, expõe-se na Figura 2.3 como as propriedades do concreto necessárias para análise estrutural são dispostas.

Figura 2.3 – Disposição das informações na interface



Fonte: O autor (2024).

As informações na interface serão organizadas por grupos e subgrupos e, além disso, serão dispostas em uma estrutura de árvore. Desse modo, no caso representado na Figura 2.3, o 'Material' é um grupo e o 'Concreto' é um subgrupo, e como é uma estrutura em árvore, ao

selecionar o concreto, todas as suas propriedades são marcadas. Caso o concreto não fosse selecionado, as informações deveriam ser marcadas individualmente.

Com a utilização da interface, deve ser gerada a lista de requisitos, que, conforme já mencionado, apresentará as informações requisitadas associadas aos parâmetros IFC. Para isso ser possível, o mapeamento com base no esquema IFC já deve ter sido realizado. Observa-se na Figura 2.4 a representação da lista e o mapeamento das informações selecionadas a partir de consulta à documentação do IFC.

Figura 2.4 – Lista de requisitos e mapeamento das informações com base no IFC4.3.2.0

Lista de requisitos	Mapeamento das propriedades do concreto realizado com base na documentação do IFC 4.3		
Concreto	Name	Property Type	Data Type
✓ Resistência à compressão	CompressiveStrength	IfcPropertySingleValue	IfcPressureMeasure
✓ Módulo de Young	YoungModulus	IfcPropertySingleValue	IfcModulusOfElasticityMeasure
✓ Coeficiente de Poisson	PoissonRatio	IfcPropertySingleValue	IfcPositiveRatioMeasure
✓ Módulo de elasticidade transversal	ShearModulus	IfcPropertySingleValue	IfcModulusOfElasticityMeasure
✓ Densidade	MassDensity	IfcPropertySingleValue	IfcMassDensityMeasure
✓ Coef. de dilatação térmica	ThermalExpansionCoefficient	IfcPropertySingleValue	IfcThermalExpansionCoefficientMeasure

Fonte: O autor (2024).

É necessário entender como as propriedades são representadas no arquivo .ifc. Desse modo, realizou-se o estudo do arquivo .ifc desenvolvido manualmente. Observa-se na Figura 2.5 uma parte do arquivo na qual as propriedades são definidas e associadas ao material (concreto) que, por sua vez, é atribuído aos elementos do modelo (longarinas da ponte).

Figura 2.5 – Parte do arquivo .ifc elaborado em um editor de texto simples

```
#1101= IFCMATERIAL('Concrete',$,$);

#1102= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('YoungModulus',$,IFCMODULUSOFELASTICITYMEASURE(26071),#57);
#1103= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('PoissonRatio',$,IFCRATIOMEASURE(0.2),#58);
#1104= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('ShearModulus',$,IFCSHEARMODULUSMEASURE(10863),#56);
#1105= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('ThermalExpansionCoefficient',$,IFCTHERMALEXPANSIONCOEFFICIENTMEASURE(0.00001),#59);
#1106= IFCMATERIALPROPERTIES('Pset_MaterialMechanical',$,(#1102,#1103,#1104,#1105),#1101));

#1107= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('MassDensity',$,IFCMASSDENSITYMEASURE(2500),#49);
#1108= IFCMATERIALPROPERTIES('Pset_MaterialCommon',$,(#1107),#1101);

#1109= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('CompressiveStrength',$,IFCPRESSUREMEASURE(30),#52);
#1110= IFCMATERIALPROPERTIES('Pset_MaterialConcrete',$,(#1109),#1101);

#1111= IFCRELASSOCIATESMATERIAL('IHYtfgYUJbv6f6HY8IJ45fb',$,20,$,$,(#500,#600,#700),#1101));
```

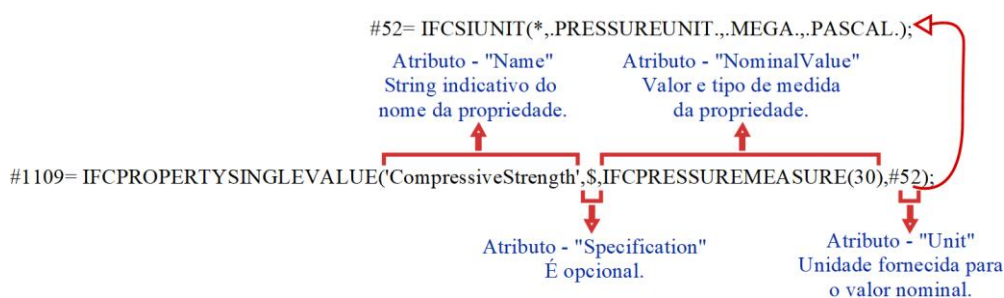
Fonte: O autor (2024).

As instâncias de *IfcMaterialProperties*, nas linhas #1106, #1108 e #1110, atribuem propriedades de material a uma definição de material, especificada na linha #1101 por meio da instanciação da entidade *IfcMaterial*. O nome do material é definido no primeiro atributo de

IfcMaterial (*IfcMaterial.Name* = *Concrete*). O primeiro atributo de *IfcMaterialProperties* refere-se ao nome atribuído aos conjuntos de propriedades.

As propriedades em questão são definidas por instâncias de *IfcPropertySingleValue*. Tomando como exemplo a linha #1109, na Figura 2.6 demonstra-se a definição da propriedade relativa à resistência à compressão.

Figura 2.6 – Definição da propriedade referente à resistência à compressão

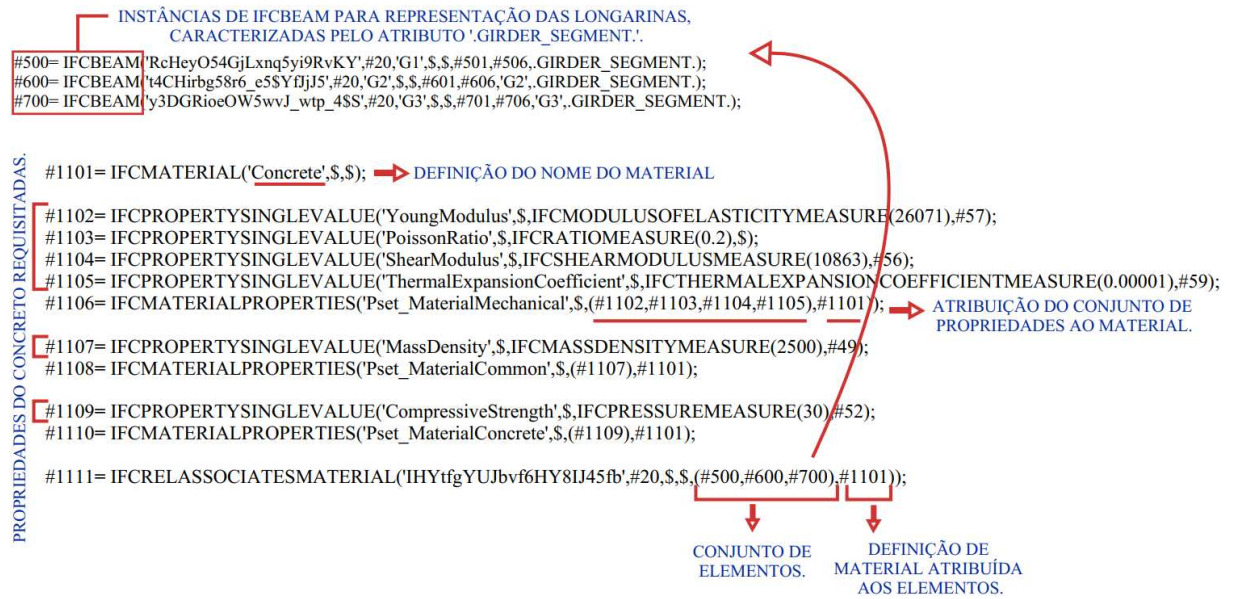


Fonte: O autor (2024).

Percebe-se que a Resistência à Compressão, identificada pela *string* de nome “CompressiveStrength” (*IfcPropertySingleValue.Name*), corresponde a 30 MPa. O atributo “Unit” faz referência à linha #52 do arquivo, que, por sua vez, atribui a unidade ao valor definido para a resistência à compressão.

A definição de material é associada aos elementos que, neste caso, são três longarinas, as quais estão representadas no arquivo .ifc por instâncias de *IfcBeam*. Para realizar essa associação, utiliza-se a entidade de relacionamento *IfcRelAssociatesMaterial* (linha #1111), definindo em seu quinto atributo uma lista de longarinas (descritas nas linhas #500, #600 e #700). Em seu sexto atributo, é especificada a definição de material que será atribuída às longarinas (linha #1101). Todo o processo descrito pode ser observado na Figura 2.7.

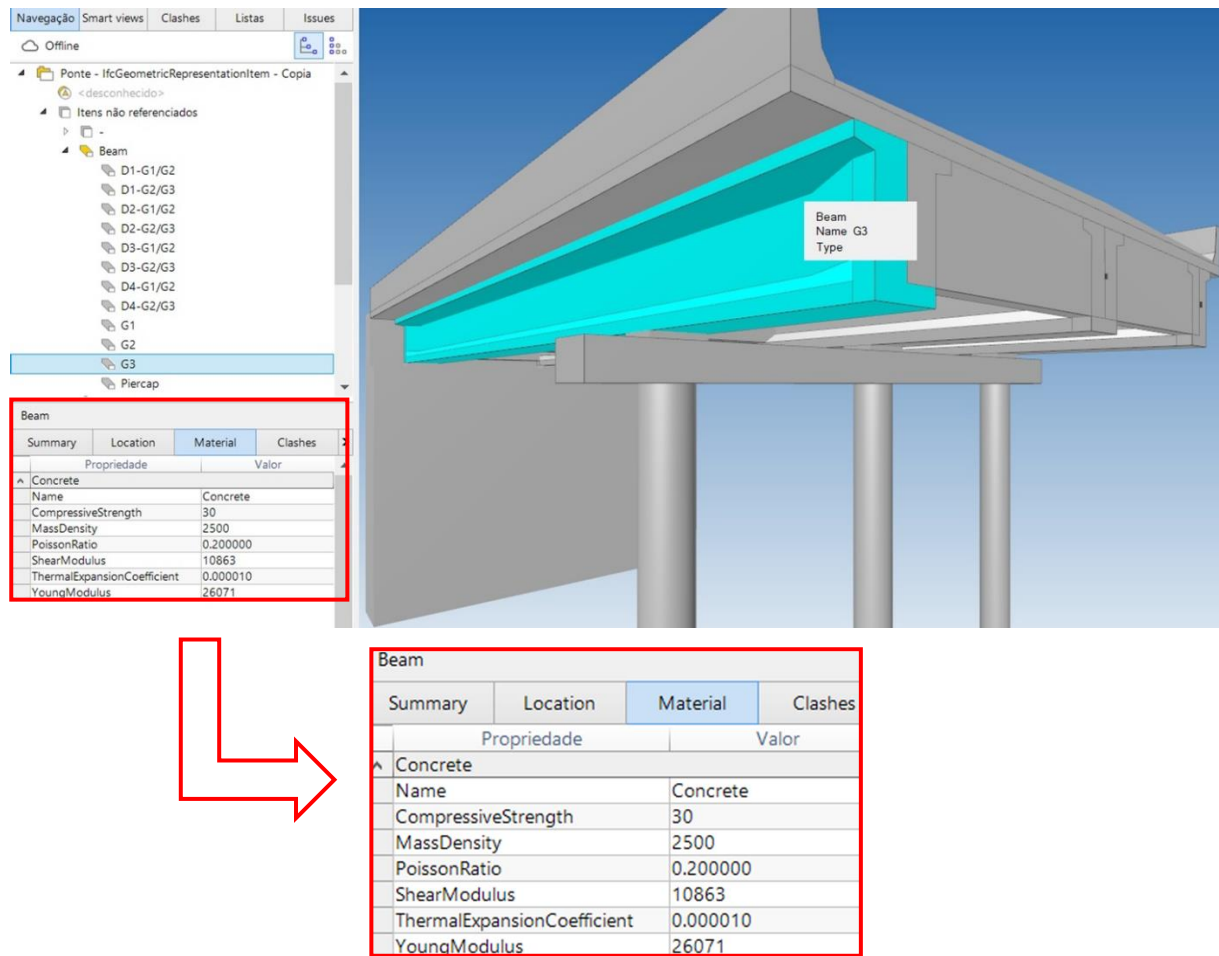
Figura 2.7 – Definição do material que compõe as longarinas



Fonte: O autor (2024).

O arquivo .ifc foi aberto no BIMCollab para demonstrar a correspondência das propriedades com o concreto e com as longarinas (Figura 2.8).

Figura 2.8 – Propriedades do concreto expostas no visualizador de modelos BIM



Fonte: O autor (2024).

Percebe-se que a longarina ‘G3’, da linha #700 do arquivo, está selecionada e que se trata de uma longarina de concreto, cujas propriedades listadas, com seus valores correspondentes, foram definidas na escrita do arquivo .ifc.

O algoritmo de varredura será desenvolvido com base na estrutura de representação das informações no arquivo .ifc. O seu objetivo será detectar *strings* correspondentes aos parâmetros IFC que definem propriedades, relacionamentos, materiais e ocorrências de elementos de construção. Uma vez encontradas as correspondências, as informações serão gravadas para que, posteriormente, possam ser acessadas de acordo com os critérios de checagem estabelecidos pelo usuário. O acesso às informações gravadas será realizado considerando os mecanismos do IFC relativos ao relacionamento entre propriedades, materiais e definições de elementos de construção.

2.3.6 Importância da correta representação das informações no arquivo .ifc

A importância da representação precisa das informações no arquivo .ifc do modelo BIM de uma ponte é evidenciada em dois cenários distintos:

- Fase de projeto: ao exportar o arquivo .ifc de uma ponte de um software de modelagem para um software de análise estrutural. É fundamental que os provedores dos softwares envolvidos neste processo tenham implementado o padrão IFC via MVD de forma adequada. Isso garantirá que as informações essenciais para a análise estrutural sejam transmitidas e interpretadas corretamente.
- Fase de operação: para avaliação da integridade estrutural. Devido ao processo de degradação natural ao qual as estruturas estão submetidas, torna-se necessário avaliá-las periodicamente. Essa avaliação periódica requer o acesso às informações de projeto. Nesse caso, o IFC se destaca, pois como esquema neutro, não está sujeito a restrições relativas a versões específicas de softwares. Portanto, as informações permanecem preservadas e acessíveis.

Frente ao exposto, verifica-se a relevância do desenvolvimento do algoritmo de varredura, pois ele servirá tanto para certificar a existência das informações no modelo como para validar o modelo convertido para o formato IFC.

2.4 Conclusões

O modelo BIM de uma construção pode ser desenvolvido para diferentes usos e é importante garantir que as informações necessárias estejam incluídas no modelo para que esses usos possam ser atingidos. Neste artigo, os princípios da metodologia preliminar para a definição e verificação do nível de informação de modelos BIM, com enfoque especial às etapas de definição e mapeamento das informações com base no IFC, foram demonstrados considerando o uso de um modelo BIM de uma ponte para análise estrutural. Para tanto, foram definidas e mapeadas as propriedades do concreto necessárias para esse fim e, além disso, demonstrou-se como são dispostas no arquivo .ifc do modelo. Depois, foi exposto no *BIMCollab* o modelo da ponte, evidenciando que as suas longarinas são de concreto e que as propriedades do material estavam corretamente definidas, assim como estabelecido na elaboração do arquivo.

Baseando-se no que foi apresentado, descreveu-se como o algoritmo irá localizar as informações no arquivo .ifc do modelo. Este processo envolve a leitura e gravação de dados correspondentes aos parâmetros que estabelecem propriedades, relacionamentos, definições de materiais e elementos de construção. Por fim, apresentou-se exemplos que demonstram a importância de as informações do modelo BIM de uma ponte estarem corretamente definidas em IFC, o que pode facilitar a análise estrutural durante a fase de projeto e a avaliação da integridade estrutural na fase de operação.

Tendo em vista o elevado custo de uma ponte, faz-se necessário tecnologias que possam melhorar a qualidade da obra, seja durante a etapa de projeto, construção ou operação. O BIM contempla todo o ciclo de vida do empreendimento e a sua aplicação a esse tipo de construção pode garantir essa melhoria. Entretanto, ainda é necessário a definição de procedimentos estruturados para a utilização do BIM com maior eficiência. Neste artigo, foram mencionadas algumas das inconsistências relacionadas ao LOD, as quais podem resultar em prejuízos para o projeto. Por isso, realizou-se a proposta da metodologia, a qual consiste tanto em ajudar a contratante a garantir que os dados requisitados constem no modelo como em fornecer à equipe de projeto (contratada) maior detalhe sobre quais informações ela deve fornecer.

A disseminação do BIM na indústria da AECO depende do progresso das pesquisas nessa área. Este estudo, que abordou a representação das informações no arquivo .ifc do modelo de uma ponte, faz parte de uma pesquisa em andamento. A próxima fase da pesquisa envolverá o desenvolvimento de uma ferramenta para a verificação de dados e testes utilizando modelos IFC de pontes.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado com o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001. Os autores também agradecem o suporte oferecido pelo DNIT e a Universidade Federal de Viçosa (por meio do TED 703/2020) e à colaboração do grupo de pesquisa TechBIM.

Referências

ABUALDENIEN, J.; BORRMANN, A. A meta-model approach for formal specification and consistent management of multi-LOD building models. **Advanced Engineering Informatics**, v. 40, p. 135–153, 2019.

ABUALDENIEN, J.; BORRMANN, A. Levels of detail, development, definition, and information need: a critical literature review. **ITcon**, v. 27, p. 363–392, 2022.

AIA - AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS. **AIA Document E202 – 2008: Building Information Modeling Protocol Exhibit**. 2008.

AIA - AMERICAN INSTITUTE OF ARCHITECTS. **Guide, Instructions and Commentary to the 2013 AIA Digital Practice Documents**. 2013.

BEDRICK, J. Organizing the Development of a Building Information Model. **AECbytes**, 2008.

BIMFORUM. **Level of Development (LOD) Specification For Building Information Models: Part 1, Guide, & Commentary**. 2021.

BOLPAGNI, M.; CIRIBINI, A. **The Information Modeling and the Progression of Data-Driven Projects**. 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/303642440_The_Information_Modeling_and_the_Progression_of_Data-Driven_Projects>. Acesso em: 15 fev. 2023.

BORRMANN, A. *et al.* The IFC-Bridge Project - Extending the IFC standard to enable high-quality exchange of bridge information models. **European Conference on Computing in Construction**, 2019.

BUILDINGSMART (2023). **IFC Specifications Database**. Disponível em: <<https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/>>. Acesso em: 14 de fev. 2023.

EASTMAN, C. *et al.* Automatic rule-based checking of building designs. **Automation in Construction**, v. 18, p. 1011–1033, 2009.

EASTMAN, C. *et al.* BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. **John Wiley & Sons**, 2ª ed., 2011.

KHEMLANI, L. The IFC Building Model: A Look Under the Hood. **AECBytes**, 2004. Disponível em: <<https://www.aecbytes.com/feature/2004/IFC.html>>. Acesso em: 8 de fev. 2023.

NAWARI, N. O. BIM-Model Checking in Building Design. **Structures Congress 2012**, p. 941–952, 2012.

PENSTATE. **BIM Uses**. Disponível em: <<https://bim.psu.edu/uses/>>. Acesso em: 10 de fev. 2023.

SOLIHIN, W.; EASTMAN, C. Classification of rules for automated BIM rule checking development. **Automation in Construction**, v. 53, p. 69–82, 2015.

SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, p. 357–375, 2009.

VAN BERLO, L. A. H. M.; BOMHOF, F. Creating the Dutch National BIM Levels of Development. **International Conference on Computing in Civil and Building Engineering**, p. 129–136, 2014.

CAPÍTULO 3

Proposta para a verificação automática de dados IFC de modelos de pontes

Resumo

A garantia da disponibilidade e integridade dos dados em modelos BIM é fundamental para o gerenciamento eficiente da construção ao longo de todo o seu ciclo de vida. Este artigo apresenta uma proposta para a verificação automática de dados IFC de modelos de pontes, por meio de uma ferramenta denominada BDCheck (*Bridge Data Checker*), desenvolvida em Delphi. A ferramenta é capaz de ler arquivos .ifc, identificando definições de elementos construtivos, materiais, propriedades e relacionamentos, com foco especial na verificação de propriedades. A sua interface foi projetada para simplificar o processo de verificação, oferecendo uma variedade de propriedades organizadas em categorias para um melhor gerenciamento. Os testes realizados em modelos de pontes criados no software Revit 2024 comprovaram a eficácia do BDCheck, demonstrando a sua capacidade de ler arquivos em formato .ifc e fornecer resultados precisos do processo de verificação. Com base na troca de dados em IFC, esta ferramenta proposta possui um grande potencial de aplicação e expansão futura.

Palavras-chave: Industry Foundation Classes. BIM. Pontes. Level of Information Need. Propriedades IFC. Verificação BIM.

3.1 Introdução

Com a crescente demanda por interoperabilidade, o uso de arquivos .ifc tem se tornado cada vez mais comum como meio para a troca de dados. No entanto, essa prática levanta preocupações sobre a qualidade desses arquivos. Tais preocupações envolvem desde a verificação da exatidão sintática do arquivo até a avaliação do modelo, a fim de assegurar que tenha sido desenvolvido de maneira que possa ser testado em relação a diferentes tipos de verificações. Isso pode incluir análises de requisitos de códigos, normas ou regulamentos de construção (Solihin; Eastman; Lee, 2015).

Conforme destacado por Amor e Dimyadi (2021), para permitir a avaliação automatizada do modelo sobre esses aspectos, é fundamental considerar a qualidade dos dados. Nessa perspectiva, os autores enfatizam a importância da suficiência das informações e destacam que a ausência de qualquer dado representa um problema significativo, o qual pode resultar na interrupção do processo e na necessidade de solicitar informações à parte responsável pelo seu fornecimento.

Para além de viabilizar os processos de verificação, informações precisas e confiáveis são fundamentais para o gerenciamento eficiente da construção ao longo de todo o seu ciclo de vida. Compreende-se que assegurar a completude e integridade dos dados do modelo requer uma especificação clara das informações necessárias, associada a um processo de verificação dos dados.

Diversos protocolos foram desenvolvidos para auxiliar no gerenciamento das informações de modelos, tais como o *Level of Development*, *Level of Detail* e *Level of Information*. Contudo, a experiência prática evidenciou a necessidade de metodologias mais precisas para a especificação das informações necessárias (NATSPEC, 2022; UK BIM Framework, 2022). Isso porque esses protocolos frequentemente utilizam métricas excessivamente genéricas, suscetíveis a interpretações variadas, o que dificulta o estabelecimento de um entendimento comum sobre quais informações são realmente necessárias. Diante disso, surgiu o conceito de *Level of Information Need*. Esse termo está associado a conceitos e princípios que buscam definir a extensão e a granularidade das informações necessárias para atender a um propósito específico (ISO 19650-1, 2018).

Para validar a entrega de informações resultante da aplicação dos conceitos relacionados ao *Level of Information Need* ou de outras abordagens, é necessário desenvolver mecanismos para a verificação dos dados. Assim, este trabalho apresenta uma proposta para a verificação

automática de dados IFC de modelos de pontes, por meio de uma ferramenta denominada BDCheck (*Bridge Data Checker*), desenvolvida em Delphi. O principal objetivo ao desenvolver esta ferramenta é fornecer um recurso que contribua para a garantia da disponibilidade e consistência dos dados do modelo, requisitos essenciais para o gerenciamento eficiente de qualquer empreendimento.

A verificação realizada com a ferramenta concentra-se principalmente na verificação do fornecimento e da conformidade das propriedades. No esquema IFC, as propriedades, associadas aos objetos através de mecanismos de conjuntos de propriedades, desempenham um papel fundamental ao permitir que informações variadas sejam incorporadas ao modelo BIM (Amor; Dimyadi, 2021; Borrmann *et al.*, 2019; Khemlani, 2004).

A decisão de direcionar a proposta para a verificação de dados de modelos BIM de pontes foi baseada em diversos fatores, dentre eles: a importância desse tipo de construção para a economia e mobilidade, o considerável custo associado à sua construção e à necessidade contínua de atividades de monitoramento que demandam informações precisas.

Com a recente concretização dos esforços internacionais destinados à ampliação da cobertura do IFC para a descrição de obras de infraestrutura, o funcionamento do BDCheck está condicionado à troca de informações baseadas nesse formato. Busca-se promover o uso do IFC em projetos de pontes, fornecendo aos usuários finais uma ferramenta para verificar arquivos .ifc, o que aumenta a confiabilidade na utilização do IFC como meio para o intercâmbio de dados. A adoção desse padrão torna-se relevante para o gerenciamento das informações de um ativo, pois evita a perda de dados de projeto, uma vez que este formato não está sujeito a restrições associadas a versões específicas de softwares.

Em muitas pontes antigas, um problema comum refere-se à ausência dos dados de projeto, o que dificulta a realização de atividades de operação e manutenção, bem como atividades relacionadas à avaliação de desempenho estrutural. É possível que as informações necessárias para essa atividade sejam obtidas a partir das normas vigentes na época de projeto e construção, contanto que haja acesso a esses dados históricos. Todavia, para o gerenciamento eficiente do ativo, é desejável que as informações sejam precisas e de fácil acesso. A proposta apresentada nesta pesquisa busca viabilizar isso.

3.2 Building Information Model

O *Building Information Model* refere-se à descrição digital das características físicas e funcionais de uma instalação, tratando-se de um modelo paramétrico rico em dados e baseado em objetos (AGCA, 2005; NIBS, 2007). Em comparação aos desenhos tradicionais 2D, a abordagem baseada em modelos desse tipo proporciona benefícios significativos, pois melhora a capacidade de comunicação entre as partes envolvidas e auxilia na tomada de decisões ao longo de todo o ciclo de vida da construção. Isso é viável devido à possibilidade de atribuir aos objetos do modelo um conjunto extensível de dados (Malsane *et al.*, 2015).

No entanto, os benefícios completos proporcionados pela utilização de modelos BIM só se concretizarão se as informações geradas forem compartilháveis entre todas as partes interessadas (Love *et al.*, 2014; Malsane *et al.*, 2015). Nesse contexto, o esquema IFC, desenvolvido e mantido pela *buildingSMART International* (bSI), anteriormente conhecida como *International Alliance for Interoperability* (IAI) (Eastman *et al.*, 2011), se apresenta como meio para dar suporte à interoperabilidade entre aplicativos, abrangendo informações relacionadas a todos os aspectos de uma construção ao longo do seu ciclo de vida (Khemlani, 2005). O IFC fornece uma linguagem comum para o intercâmbio de dados, preservando o significado das informações durante a transferência (Ding *et al.*, 2006; Malsane *et al.*, 2015).

3.3 Industry Foundation Classes

O esquema IFC é o padrão internacional aberto usado para descrever os dados do BIM que são trocados e compartilhados entre diversos atores por meio de softwares (ISO 16739-1, 2018). A primeira versão do IFC, versão 1.0, foi publicada em 1996 (Khemlani, 2004) e, desde então, o esquema passou por atualizações para refletir novos aspectos. Entre os esquemas abertos destinados ao intercâmbio de dados nos setores da construção e gerenciamento de instalações, o IFC tem sido extensivamente utilizado e estudado por especialistas e pesquisadores da área que buscam melhorar a transferência de dados entre aplicativos (Lee; Eastman; Solihin, 2018; Sacks *et al.*, 2010).

O objetivo do desenvolvimento do IFC foi estabelecer um modelo de dados neutro e abrangente, com definições amplas e gerais para descrever objetos e dados, a partir das quais modelos mais específicos poderiam ser definidos para suportar a transferência de dados relacionados a atividades específicas (Eastman *et al.*, 2011). Em essência, o IFC inclui

definições para representar geometrias, processos, relações, materiais e propriedades, entre outras informações, com o esquema de dados definido pela linguagem EXPRESS (Liebich; Wix, 1999; Venugopal *et al.*, 2012).

Dois recursos foram implementados no IFC com o objetivo de aumentar a flexibilidade e a extensibilidade: os conjuntos de propriedades e os proxies (Khemlani, 2004). Caso uma propriedade seja universal, ela será codificada como um atributo. No entanto, se a forma como a propriedade é tratada varia de acordo com a localidade, ela é definida por meio de um conjunto de propriedades separado que pode ser associado aos objetos do modelo, comportando-se da mesma forma que os atributos. Isso permite a inclusão de parâmetros específicos ao modelo, de modo a viabilizar o atendimento às necessidades de troca de dados de um país, região ou organização (Borrmann *et al.*, 2019).

Quanto aos proxies, eles são usados para representar elementos que não foram definidos formalmente no IFC. Um elemento com uma definição de proxy não contém o significado do tipo de elemento de construção que representa (Steel; Drogemuller; Toth, 2012); no entanto, assim como para as entidades IFC regulares, ele pode ser definido com geometria e conjuntos de propriedades (Khemlani, 2004). Evidentemente, não é desejável trabalhar com proxies, haja vista a ausência de significado do elemento, o que pode prejudicar na sua interpretação. Desse modo, sempre que um elemento tiver um parâmetro que o defina, esse parâmetro deve ser usado, transmitindo a semântica desse elemento.

Por ser o único padrão aberto e relativamente maduro implementado pelos principais aplicativos BIM, a maioria dos esforços destinados ao desenvolvimento de sistemas de verificação baseia-se no IFC (Solihin; Eastman, 2015). Ter um padrão para a representação dos dados do BIM é essencial para a criação de qualquer aplicativo de verificação (Solihin; Eastman, 2015).

Um esforço notável é o sistema CORENET e-PlanCheck de Singapura, oficialmente iniciado em 2000, cujo principal objetivo era fornecer mecanismos para verificar modelos de construção em relação a requisitos regulatórios (Khemlani, 2005). Para atender aos objetivos propostos com o sistema, foi necessário utilizar uma plataforma chamada FORNAX para estender os dados do modelo de construção fornecidos pelo IFC, obtendo as informações relevantes para a verificação dos códigos através do e-PlanCheck (Khemlani, 2005). Essa plataforma é uma biblioteca de objetos, em que cada objeto possui todos os atributos necessários para os códigos de Singapura, juntamente com regras específicas aplicáveis a cada um deles (Malsane *et al.*, 2015). Com o intuito de atender aos requisitos de outros países, os

objetos foram desenvolvidos para serem extensíveis. Isso levou à utilização do CORENET ePlanCheck como base para projetos-piloto na Noruega e em Nova York (Khemlani, 2005; Malsane *et al.*, 2015).

3.3.1 IFC para infraestrutura

Até a versão 4, o desenvolvimento do IFC concentrou-se na representação de edifícios. No entanto, a partir de 2010, houve um aumento significativo na demanda da indústria para que o IFC fosse estendido para abranger obras de infraestrutura, como pontes, túneis e estradas. Isso levou à fundação de uma subdivisão da *buildingSMART* chamada *Infra Room* (Chipman, 2016). A *Infra Room* estabeleceu diretrizes e iniciou diversos projetos com o propósito de desenvolver as extensões necessárias para o IFC, atuando como o núcleo central de vários grupos internacionais (Borrmann *et al.*, 2019). Em seu trabalho, Costin *et al.* (2018) abordaram os principais esforços direcionados à implementação do IFC em projetos de infraestrutura.

Como a definição do alinhamento da obra é uma das partes mais importantes em projetos de infraestrutura, visto que a construção de estradas, túneis, ferrovias e, eventualmente, pontes depende significativamente dessa informação, a *Infra Room* iniciou um projeto em 2014 para desenvolver uma extensão do IFC voltada para o alinhamento (buildingSMART, 2015). A primeira versão desse trabalho foi publicada um ano depois (Chipman, 2016), seguida por uma atualização, o IFC Alignment 1.1 (Liebich, 2017). A descrição do alinhamento foi introduzida na versão 4.1 do IFC, mas essa versão foi retirada em seguida pela *buildingSMART* (buildingSMART, 2023). Durante o desenvolvimento do IFC 4.3, o alinhamento baseado no esquema IFC foi substancialmente atualizado para refletir novas considerações (Hooper, 2022). Recentemente, a documentação 4.3.2.0 tornou-se a versão final para o IFC 4.3, incorporando definições para cobrir instalações de infraestrutura.

3.3.2 O projeto de extensão IFC Bridge

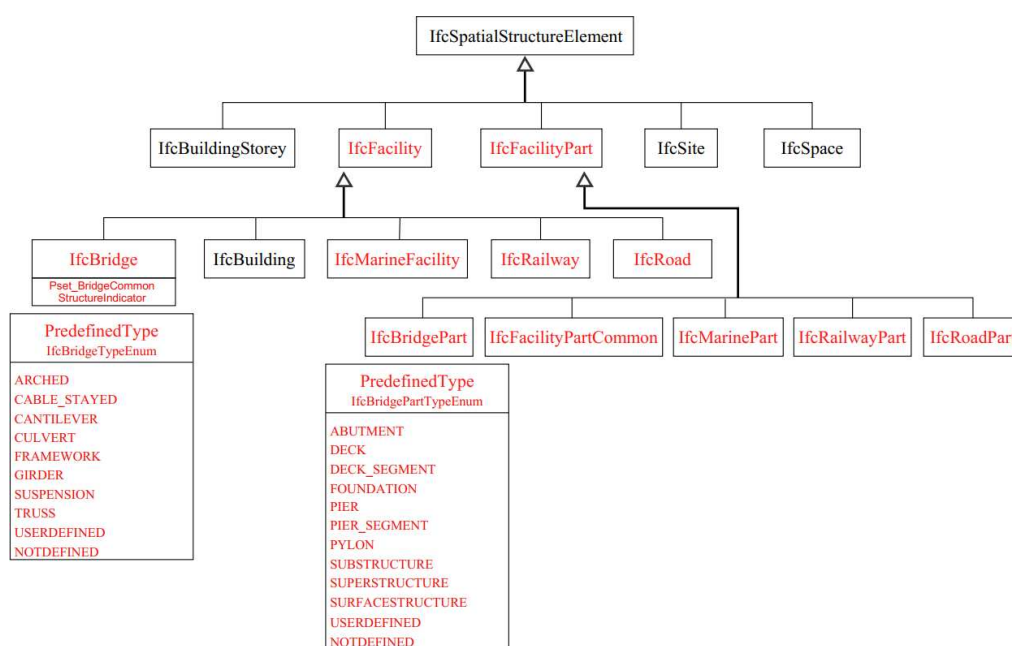
Em outubro de 2016, o IFC Bridge tornou-se oficialmente um projeto da *buildingSMART* (Castaing *et al.*, 2017). Esse projeto foi estabelecido com o objetivo de estender o modelo de dados IFC para incluir a descrição da semântica e da geometria de pontes (Castaing *et al.*, 2018a). Para atender à urgente demanda internacional, foi iniciado pela *Infra Room* como um projeto acelerado, definido para ser realizado em dois anos. O projeto começou em janeiro de 2017 e foi concluído em abril de 2019 (Borrmann *et al.*, 2019).

Devido ao prazo limitado, no escopo do projeto, foram definidos os tipos mais comuns e difundidos de pontes. Além disso, foram incluídos somente os casos de uso relevantes e que demandariam esforços razoáveis para a definição e validação das extensões necessárias (Castaing *et al.*, 2018b).

O projeto envolveu a produção de três relatórios principais: *Project Proposal* (Castaing *et al.*, 2017), *Requirements Analysis* (Castaing *et al.*, 2018b) e *Conceptual Model* (Castaing *et al.*, 2018a), bem como o desenvolvimento do padrão candidato IFC Bridge. Essa versão candidata foi lançada como versão 4.2, entretanto, foi retirada devido a melhorias do *IfcAlignment* no IFC 4.3 que não eram compatíveis com as versões anteriores. Por isso, o padrão oficial de pontes foi integrado ao ciclo de lançamento do IFC 4.3.x (buildingSMART, 2023).

Na documentação 4.3.2.0 podem ser analisadas as extensões realizadas no esquema IFC para incluir a descrição de obras de infraestrutura. Na Figura 3.1, as entidades adicionadas estão destacadas em vermelho. Pode-se observar a introdução das entidades *IfcFacility* e *IfcFacilityPart*, ambas como subtipos de *IfcSpatialStructureElement*. Um *Facility* pode ser um *IfcBridge*, *IfcBuilding*, *IfcMarineFacility*, *IfcRailway* ou *IfcRoad*. A entidade *IfcFacilityPart* fornece a divisão espacial de instalações. Os valores enumerados definidos para o atributo *PredefinedType* de *IfcBridge* e de *IfcBridgePart* podem ser usados para descrever um tipo característico de ponte ou uma parte da ponte, respectivamente. Percebe-se que *IfcBuilding* foi transferido para um nível inferior na hierarquia.

Figura 3.1 – IFC Extensões: documentação 4.3.2.0



Fonte: O autor (2024).

As seguintes entidades foram propostas no relatório *Conceptual Model* (Castaing *et al.*, 2018a) e estão presentes na documentação 4.3.2.0 do IFC:

- *IfcBearing*: subtipo de *IfcBuiltElement*;
- *IfcDeepFoundation*: subtipo de *IfcBuiltElement*;
- *IfcCaissonFoundation*: subtipo de *IfcDeepFoundation*;
- *IfcVibrationDamper*: subtipo de *IfcElementComponent*;
- *IfcTendonConduit*: subtipo de *IfcReinforcingElement*.

Conforme apontado por Borrmann *et al.* (2019), a maioria dos elementos físicos de pontes pode ser descrita utilizando entidades já existentes. Dessa forma, no relatório *Conceptual Model* (Castaing *et al.*, 2018a), foram propostos novos valores enumerados para serem incorporados ao atributo *PredefinedType* das entidades existentes. Esses valores, constantes na documentação 4.3.2.0, podem ser observados na Figura 3.2.

Figura 3.2 – Novos tipos pré-definidos para as entidades existentes

IfcBeam DIAPHRAGM EDGEBEAM GIRDER_SEGMENT HATSTONE CORNICE PIERCAP	IfcColumn PIERSTEM PIERSTEM_SEGMENT STANDCOLUMN	IfcCovering COPING
IfcMember STIFFENING_RIB ARCH_SEGMENT SUSPENSION_CABLE SUSPENDER STAY_CABLE	IfcPlate FLANGE_PLATE WEB_PLATE STIFFENER_PLATE GUSSET_PLATE SPLICE_PLATE COVER_PLATE BASE_PLATE	IfcSlab APPROACH_SLAB PAVING SIDEWALK WEARING
IfcWall RETAININGWALL	IfcElementAssembly ABUTMENT PIER PYLON CROSS_BRACING DECK	IfcVibrationIsolator BASE
IfcBuildingElementPart APRON	IfcDiscreteAccessory EXPANSION_JOINT_DEVICE	IfcMechanicalFastener COUPLER
IfcReinforcingBar SPACEBAR	IfcSurfaceFeature DEFECT	IfcProjectionElement BLISTER DEVIATOR

Fonte: Adaptado de Castaing *et al.* (2018a).

O valor definido para o atributo *PredefinedType* dos elementos é de grande relevância para o funcionamento do BDCheck, pois permite uma identificação precisa de cada elemento da ponte durante a leitura do arquivo .ifc.

3.4 Level of Development, Level of Information Need e Model View Definition

Existem dois fatores fundamentais que devem ser considerados para a verificação do modelo convertido para o formato IFC. O primeiro fator está relacionado à especificação dos requisitos de informação necessários, que devem ser claros e precisos. O segundo fator refere-se à definição do MVD (*Model View Definition*) que contém o subconjunto do IFC necessário para atender à definição desses requisitos.

Um termo amplamente conhecido para abordar a progressão do modelo refere-se ao LOD (*Level of Development*). Esse termo foi introduzido em 2008 pelo *American Institute of Architects* (AIA) e é definido por uma estrutura de cinco níveis cumulativos, variando do LOD 100 ao LOD 500 (Abualdenien; Borrmann, 2022; AIA, 2008). Em 2011, o grupo de trabalho denominado BIMForum, utilizando as definições de LOD propostas pelo AIA, iniciou o desenvolvimento da Especificação LOD com o objetivo de promover a padronização e a consistência na aplicação do conceito, bem como aumentar a sua utilidade como ferramenta para colaboração (BIMForum, 2022). A primeira versão do documento foi publicada em 2013 e, posteriormente, versões atualizadas foram publicadas com periodicidade anual.

Ao trabalhar com as definições do AIA, o BIMForum identificou a necessidade de inserir um novo nível na estrutura, nível esse definido como LOD 350. No primeiro nível, LOD 100, o elemento pode ser representado no modelo como um símbolo ou outra representação genérica. No segundo nível, LOD 200, o elemento é representado de forma genérica, com informações aproximadas sobre a forma, localização, tamanho, quantidade e orientação. Para atender aos requisitos do terceiro nível, LOD 300, o elemento deve conter uma representação gráfica precisa, de modo que, informações como quantidade, tamanho, forma, localização e orientação possam ser obtidas diretamente no modelo, sem a necessidade de consultar informações não modeladas. No LOD 350, é exigida a modelagem da interface entre elementos próximos ou conectados, o que permite uma coordenação mais detalhada entre as disciplinas, como o processo de detecção de interferências. No LOD 400, a representação gráfica do elemento no modelo contém detalhes suficientes para fabricação, montagem e instalação. O

último nível, LOD 500, diz respeito a uma representação gráfica de uma condição existente, isto é, do elemento conforme construído (BIMForum, 2022).

Como o ritmo de desenvolvimento dos elementos, do conceitual à definição precisa, ocorre em taxas diferentes ao longo das fases do projeto, o modelo incluirá elementos com LODs distintos. Dessa forma, não é adequado exigir um “LOD do modelo” ao final de uma determinada fase do projeto; ao invés disso, o modelo compreenderá elementos modelados em diferentes níveis de desenvolvimento (BIMForum, 2021).

Em muitos países, as especificações do AIA e BIMForum tornaram-se ponto de partida para o desenvolvimento de diversas diretrizes e documentos BIM (Bolpagni; Ciribini, 2016). Nos estudos de Abualdenien e Borrmann (2022) e Bolpagni (2016), foram analisados os termos e metodologias derivados do LOD, identificando-se diferenças importantes entre eles. Ambos os estudos revelaram desvios em relação ao LOD, especialmente em relação ao seu nível de aplicação (elementos/modelo); à correlação dos níveis com as fases do projeto; à utilização da mesma abreviação para termos com significados diferentes (“*Level of Detail*” e “*Level of Development*”); e à utilização de termos diferentes para a mesma finalidade, apesar de possuírem diferenças fundamentais.

Gigante-Barrera *et al.* (2018) também apontam diferenças entre diversas diretrizes que abordam métodos para avaliar a evolução de modelos. Fato é que utilizar o LOD sem defini-lo corretamente pode gerar incertezas acerca da confiabilidade do modelo, conforme assinalado por Van Berlo e Bomhof (2014). Segundo exposto por Abualdenien e Borrmann (2019), as definições de LOD não são precisas, pois apresentam apenas informações textuais e gráficas, o que resulta em múltiplas interpretações e opiniões quanto às informações esperadas em cada nível.

Devido aos conflitos gerados pelos vários termos e conceitos existentes, que dificultam um entendimento e prática comuns para descrever as informações que o modelo deve conter, foi introduzido um novo termo, denominado *Level of Information Need* (Abualdenien; Borrmann, 2022; BS EN 17412-1, 2020). O *Level of Information Need* aborda procedimentos para definir a extensão e a granularidade das informações e uma das principais finalidades em defini-lo consiste em impedir o fornecimento excessivo de dados (ISO 19650-1, 2018).

Os conceitos e princípios para especificá-lo visam proporcionar um entendimento comum em relação às informações necessárias em um determinado momento (BS EN 17412-1, 2020). Ao determinar o *Level of Information Need*, é importante levar em consideração a finalidade para a qual as informações serão fornecidas, a fim de esclarecer por qual razão são

necessárias (Bolpagni; Hooper, 2021). Além disso, deve-se considerar os atores envolvidos, isto é, quem solicita e quem fornece as informações, os objetos aplicáveis, bem como o momento em que elas devem ser entregues (BS EN 17412-1, 2020).

A partir disso, o *Level of Information Need* é descrito em termos de informações geométricas, alfanuméricas e de documentação (Bolpagni; Hooper, 2021). Cada finalidade requer as suas próprias especificações de informações geométricas, alfanuméricas e de documentação (BS EN 17412-1, 2020). O *Level of Information Need* é determinado sempre que um requisito de informação é definido (Bolpagni; Hooper, 2021).

Portanto, há uma diferença significativa entre esse novo conceito e o LOD e seus termos correlatos. Enquanto esses últimos consistem principalmente em métricas genéricas, sem a especificação clara da finalidade de uso do objeto ou dos dados alfanuméricos necessários, o *Level of Information Need* é especificado considerando os requisitos necessários para alcançar cada finalidade acordada, o que simplifica a verificação dos entregáveis de informações, especialmente com a entrega de dados baseada na estrutura do IFC.

Como o esquema IFC é amplo demais para ser implementado totalmente pelos fornecedores em seus softwares (Bazjanac, 2008; Venugopal *et al.*, 2012), foi criada uma abordagem baseada em MVD para a sua implementação (Hietanen, 2006; Wix; Karlshøj, 2010). Um MVD representa um subconjunto de um esquema de dados aberto, como o IFC, que abrange somente elementos específicos com base em requisitos de troca estabelecidos (Son *et al.*, 2022). Desde 2006, o desenvolvimento de MVDs tem sido predominantemente baseado no IFC (Laakso, 2012); de modo que, frequentemente, um MVD se refere a um MVD do IFC (Son *et al.*, 2022). Para que um software seja certificado em relação a um MVD específico, a implementação é analisada com base nos acordos de implementação estabelecidos para esse MVD (buildingSMART, [s.d.]).

Essencialmente, um MVD estabelece a especificação para a implementação da troca de dados baseados no IFC, enquanto o processo de certificação testa se as implementações estão em conformidade com essa especificação (See; Karlshøj; Davis, 2012). O MVD documenta um nível específico de implementação do IFC necessário para atender aos requisitos de troca de dados determinados para um ou vários fluxos de trabalho reconhecidos na indústria da construção e gerenciamento de instalações (buildingSMART, [s.d.]). Essa abordagem visa definir como a troca de dados entre aplicativos deve ser expressa usando o IFC (Hietanen, 2006).

O primeiro MVD oficial publicado pela *buildingSMART* foi o *Coordination View*, amplamente implementado na maioria dos softwares BIM (Pinheiro *et al.*, 2018). Como subconjunto do IFC 2x3 TC1, o *Coordination View* 2.0 visa dar suporte à coordenação de projetos entre as disciplinas de arquitetura, estrutura e instalações (Häfele; Geiger; Liebich, 2013). Com a publicação da versão IFC 4, surgiu a necessidade de desenvolver subconjuntos padronizados para essa versão, de modo a dar suporte a sua implementação. Um dos subconjuntos desenvolvidos é o *Reference View*, ideal para ser utilizado em fluxos de trabalho baseados em modelos de referência, nos quais a troca ocorre principalmente de forma unidirecional (*buildingSMART*, [s.d.]). Devido à ampliação do esquema IFC para cobrir obras de infraestrutura, agora há também a necessidade de definir MVDs para essas extensões (Van Berlo, [s.d.]).

3.5 Verificação baseada em regras

A verificação automatizada de regras pode ser definida como um método para avaliar o projeto com base nas configurações dos objetos, suas relações ou atributos (Nawari, 2012). Por meio de sistemas baseados em regras, é possível aplicar condições ou restrições para obter respostas como “PASS”, “FAIL”, “WARNING” ou “UNKNOWN”, quando as informações necessárias para a verificação não estão disponíveis (Eastman *et al.*, 2009).

A verificação de regras pode ser estruturada em quatro fases (Eastman *et al.*, 2009):

- Interpretação da regra: essa fase está relacionada à tradução de requisitos de códigos, normas ou regulamentos de construção para um formato interpretável por máquina.
- Preparação do modelo: essa fase envolve os requisitos de modelagem, cabendo aos projetistas prepararem os modelos com cuidado, considerando o que cada objeto representa e as informações que devem conter. Os parâmetros dos objetos devem ser definidos adequadamente para que possam ser interpretados por sistemas de verificação.
- Execução da regra: essa fase refere-se à aplicação da regra ao modelo. É importante verificar previamente se o modelo contém os parâmetros necessários para permitir a execução da regra.
- Relatório de resultados: essa fase refere-se ao registro dos resultados da verificação. O relatório de resultados deve apresentar os casos de conformidade e não

conformidade para facilitar a correção das não conformidades. Os resultados dos testes para cada ocorrência de um determinado tipo de elemento, para o qual a regra foi aplicada, devem ser discriminados no relatório.

Com base na aplicabilidade das regras e nos dados que exigem, foram distinguidas quatro classes gerais por Solihin e Eastman (2015). A primeira classe inclui regras que exigem poucos dados e que estão explicitamente disponíveis no modelo. A segunda classe engloba regras que exigem dados derivados, os quais são obtidos a partir dos parâmetros existentes.

A terceira classe compreende regras que requerem uma estrutura de dados complexa e pode envolver a análise de vários fatores simultaneamente. Regras desse tipo são normalmente utilizadas para a verificação de códigos de construção que incluem requisitos complexos. A quarta classe definida pelos autores abrange regras capazes de fornecer soluções para os casos de não conformidade. Nesses casos, o foco deixa de ser a avaliação dos critérios prescritos e passa a se concentrar na forma como o modelo pode comprovar o atendimento aos requisitos.

3.6 Metodologia

O BDCheck foi desenvolvido na linguagem de programação orientada a objetos Delphi. O ambiente de desenvolvimento RAD Delphi 10.4 fornece vários recursos, o que permite a criação completa de aplicativos (front-end e back-end). Como o aplicativo deve ler arquivos .ifc, utilizou-se a documentação 4.3.2.0 do IFC para o seu desenvolvimento. Assim, as classes com as definições de entidades do IFC foram criadas e estruturadas de acordo com essa versão.

Com base em aspectos comuns relacionados a sistemas de verificação, foram definidos os seguintes recursos para o aplicativo:

- **Verificação prévia do arquivo .ifc:** essa funcionalidade tem por objetivo analisar se o arquivo contém os parâmetros necessários para que a verificação possa ser realizada.
- **Definição de condições:** essa funcionalidade permite especificar condições para analisar a conformidade dos dados encontrados.
- **Emissão do relatório de resultados:** é uma parte fundamental do aplicativo. Os resultados devem ser emitidos para cada ocorrência de um tipo de elemento testado, de maneira que seja possível localizá-lo no modelo.

- **Disponibilização dos dados para a seleção:** essa disponibilidade não apenas agiliza e torna o processo mais eficiente, mas também proporciona uma nomenclatura padronizada dos dados, assegurando a precisão do processo de verificação.

Considerando o último aspecto, a interface do BDCheck contém uma estrutura em que várias propriedades do IFC estão disponíveis para a seleção. Essas propriedades estão incluídas em seus respectivos conjuntos de propriedades (*Pset_*), os quais foram agrupados em categorias conforme o tipo de dado que representam (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 – Estruturação dos conjuntos de propriedades com categorias

Categoria	Conjuntos de propriedades
Dados de elementos em concreto	Pset_ConcreteElementGeneral
Dados de elementos pré-fabricados.	Pset_PrecastConcreteElementFabrication
	Pset_PrecastConcreteElementGeneral
Dados de inspeção.	Pset_Condition
Dados de manutenção.	Pset_MaintenanceTriggerDuration
	Pset_MaintenanceTriggerPerformance
Dados de material.	Pset_MaterialCommon
	Pset_MaterialConcrete
	Pset_MaterialMechanical
	Pset_MaterialSteel
Dados de reparo.	Pset_RepairOccurrence
Dados para administração.	Pset_ConstructionAdministration
	Pset_ConstructionOccurence
	Pset_InstallationOccurrence
	Pset_ManufacturerOccurrence
	Pset_ManufacturerTypeInfoormation
	Pset_Warranty

Fonte: O autor (2024).

Essa organização, que visa simplificar a localização das informações, pode ser ampliada com a adição de propriedades e categorias adicionais.

Para avaliar as funcionalidades do BDCheck, foram realizados testes com arquivos .ifc de pontes modeladas no software Revit 2024.

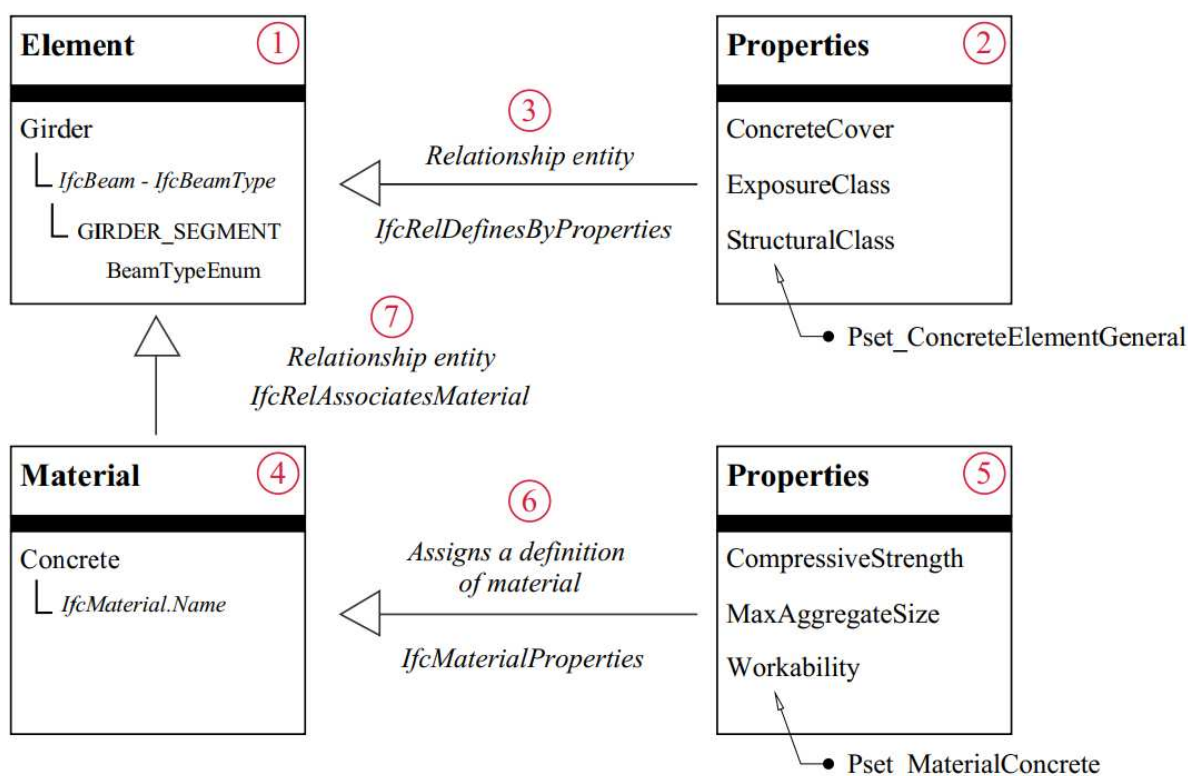
3.6.1 Mecanismo de funcionamento do BDCheck

Em essência, o BDCheck é capaz de ler o arquivo em formato .ifc, armazenar as informações lidas em listas específicas e relacionar essas informações para efetuar as validações necessárias.

Todas as classes criadas no Delphi devem começar com a letra “T”. Desse modo, o nome de cada classe criada começa com a letra “T”, seguida pelo nome da entidade correspondente no IFC. Não foi implementada toda a estrutura hierárquica das classes, nem foram especificados todos os atributos de cada entidade. Foram implementadas apenas as definições necessárias que permitem analisar o arquivo .ifc segundo os objetivos propostos.

No padrão IFC, existem entidades destinadas a definir relacionamentos entre conjuntos de propriedades e elementos, assim como entre definições de materiais e elementos, ou tipos de elementos. Esse conceito é ilustrado de maneira simplificada na Figura 3.3 e fornece o princípio para o desenvolvimento do código do aplicativo.

Figura 3.3 – Relacionamentos entre conjuntos de propriedades e elementos no IFC



Fonte: O autor (2024).

Do conceito geral, podem ser derivados os seguintes aspectos: (1) definição da ocorrência de um elemento; (2) definição da propriedade incluída em um conjunto de

propriedades; (3) associação do conjunto de propriedades ao elemento; (4) definição do material em termos de nome e/ou categoria; (5) definição da propriedade de material incluída em um conjunto de propriedades; (6) associação do conjunto de propriedades de material a uma definição de material; (7) atribuição de uma definição de material a um elemento ou tipo de elemento. Implementou-se um subconjunto do IFC para identificar esses aspectos no arquivo .ifc.

3.6.2 Leitura do arquivo .ifc

Durante o processo de leitura e gravação dos dados, o BDCheck percorre linha por linha do arquivo .ifc em ordem sequencial, do início ao fim. A cada linha lida, o programa executa verificações predefinidas para analisar se ela contém uma sequência específica programada. Essa sequência analisada na linha corresponde ao nome da instância. Nos casos das instâncias que representam os elementos físicos da ponte, uma segunda sequência na linha relacionada ao valor do atributo *PredefinedType* pode ser avaliada.

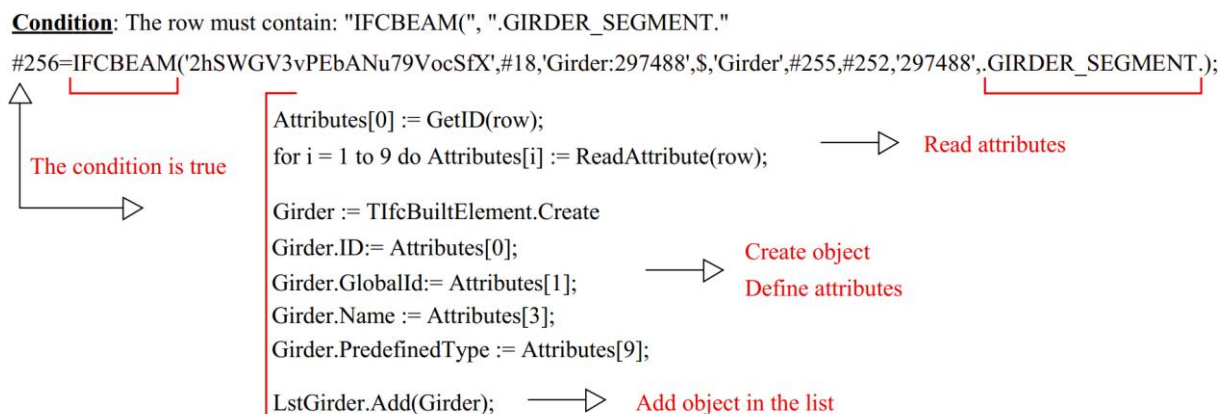
Quando uma condição é atendida em uma determinada linha, o programa cria um objeto pertencente a uma classe específica. Essa classe representa a entidade do IFC descrita pela instância encontrada e, como resultado, o objeto incorpora os atributos inerentes a essa classe, sendo preenchidos de acordo com os valores encontrados na linha.

Foi desenvolvida uma função para extrair os valores dos atributos presentes em cada linha. Essa função separa individualmente os atributos e os armazena em posições específicas de uma matriz. Como a apresentação dos valores dos atributos segue uma sequência fixa, basta identificar o índice correspondente à posição do valor do atributo na matriz e associá-lo à propriedade correspondente do objeto criado.

O objeto criado, com as suas propriedades definidas, é então adicionado a uma lista específica. Cada lista pode abranger um ou mais objetos, a depender do número de instâncias da mesma classe encontradas no arquivo. Essas listas são de tipos específicos e possuem nomes que refletem o tipo de objeto que armazenam.

O exemplo apresentado na Figura 3.4 ilustra esse processo. A condição em análise requer que a linha contenha as strings “IFCBEAM(” e “GIRDER_SEGMENT”. A entidade *IfcBeam* representa a ocorrência de um elemento de construção, enquanto GIRDER_SEGMENT é o valor referente ao atributo *PredefinedType* de *IfcBeam*, usado para especificar com mais precisão o elemento em questão.

Figura 3.4 – Exemplo de criação de um objeto a partir da leitura de uma linha do arquivo



Fonte: O autor (2024).

Uma vez que a condição é atendida, a extração dos atributos é iniciada e esses atributos são armazenados na matriz de strings chamada *Attributes*. A função *GetID* é alimentada com a linha do arquivo e é utilizada para obter o identificador exclusivo dessa linha (definido pela sequência #xxx), que é armazenado na primeira posição da matriz (*Attributes[0]*). Como *IfcBeam* possui nove atributos, um loop “for” é usado para iterar de 1 a 9, a fim de executar a função *ReadAttribute* nove vezes. Em cada execução dessa função, um valor de atributo é coletado e armazenado em uma posição da matriz.

Em seguida, o objeto é criado, sendo do tipo *TIfcBuiltElement*. Todos os objetos que representam ocorrências de elementos de construção são desse tipo. O identificador exclusivo da linha no arquivo é definido para o atributo ID do objeto. Esse atributo foi estabelecido para todas as classes criadas no Delphi, sendo essencial para rastrear as relações presentes no arquivo. Isso se torna especialmente importante quando um atributo estabelece uma referência a outra instância, pois, nesse caso, o valor desse atributo é o ID da linha da instância relacionada. Dentre os atributos de *IfcBeam*, foram considerados o *GlobalId*, *Name* e *PredefinedType*, armazenados nas posições segunda, quarta e décima da matriz, respectivamente.

Para concluir, o objeto gerado, com os seus atributos devidamente definidos, é adicionado à lista chamada *LstGirder*. Essa lista foi criada para armazenar todos os objetos derivados das instâncias de *IfcBeam* presentes no arquivo, em que o valor do atributo *PredefinedType* é igual a *GIRDER_SEGMENT*.

3.6.2.1 Criação das classes

À medida que o arquivo .ifc é lido, as classes implementadas são instanciadas para definir objetos que representam elementos físicos de pontes, definições materiais, propriedades e relacionamentos.

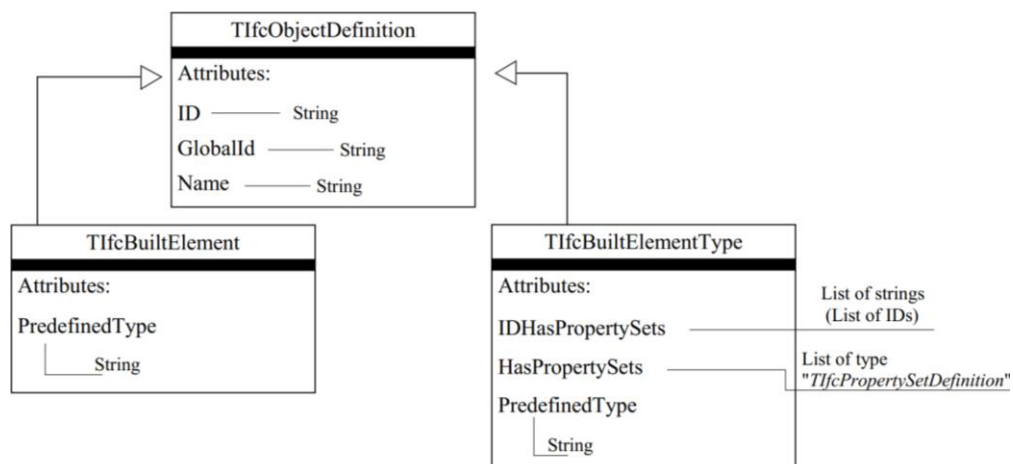
a) Definição de elementos físicos

O esquema de herança das classes instanciáveis para representar elementos e tipos de elementos pode ser observado na Figura 3.5. Os elementos de construção são descritos por subtipos de *IfcBuiltElement*, enquanto os tipos de elementos são descritos por subtipos de *IfcBuiltElementType*. Um tipo de elemento define informações comumente compartilhadas por ocorrências de elementos.

No IFC, a entidade de relacionamento *IfcRelDefinesByType* estabelece a relação entre um tipo de elemento e as ocorrências de elementos, configurando um relacionamento de 1 para *n*. Isso permite a atribuição de informações de um tipo para uma ou várias ocorrências de elementos. Como resultado, esses elementos compartilham o mesmo tipo de elemento e as propriedades associadas a ele.

Esses conceitos foram abordados devido à possibilidade de que propriedades e definições de materiais possam ser atribuídas a elementos ou a tipos de elementos. Quando essa atribuição é realizada com um tipo de elemento, seja em relação a propriedades ou a materiais, torna-se essencial verificar quais ocorrências de elementos compartilham desse tipo, permitindo obter informações sobre elementos específicos.

Figura 3.5 – TIfcObjectDefinition

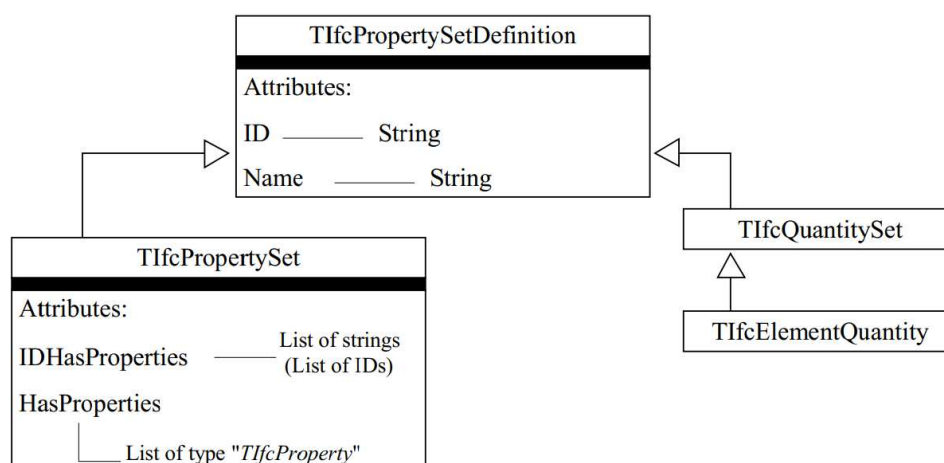


Fonte: O autor (2024).

As classes *TIfcBuiltElement* e *TIfcBuiltElementType* herdam os atributos *ID*, *GlobalId* e *Name* da classe *TIfcObjectDefinition*. Para a classe *TIfcBuiltElementType*, foi necessário definir o atributo *HasPropertySets*, que pode ser usado para estabelecer uma relação direta entre conjuntos de propriedades e um tipo de elemento. Esse atributo é uma lista do tipo *IfcPropertySetDefinition*.

A entidade *IfcPropertySetDefinition*, conforme definida na documentação do IFC, é uma generalização de todos os conjuntos de propriedades individuais que podem ser relacionados a um objeto ou a um tipo de objeto. No aplicativo, essa entidade foi incluída juntamente com seus subtipos, conforme demonstrado na Figura 3.6. Para os objetivos propostos, importa a entidade *IfcPropertySet*. O atributo *HasProperties* dessa entidade inclui as definições de propriedades individuais a serem associadas a objetos IFC.

Figura 3.6 – TIfcPropertySetDefinition



Fonte: O autor (2024).

Quando os atributos fazem referência a uma classe específica, como o *HasProperties*, um atributo adicional do tipo *string* é criado, começando com *ID* (por exemplo, *IDHasProperties*). Isso é necessário porque durante a leitura do arquivo são extraídos valores do tipo *string*. Portanto, conforme o arquivo é processado, esses atributos adicionais armazenam os IDs referentes às instâncias das entidades.

Posteriormente, esses IDs são vinculados aos atributos apropriados mediante a instanciamento das classes às quais esses atributos fazem referência. Dessa forma, inicialmente, os valores são gravados como strings e, posteriormente, são associados aos tipos específicos.

b) Definição de relacionamentos

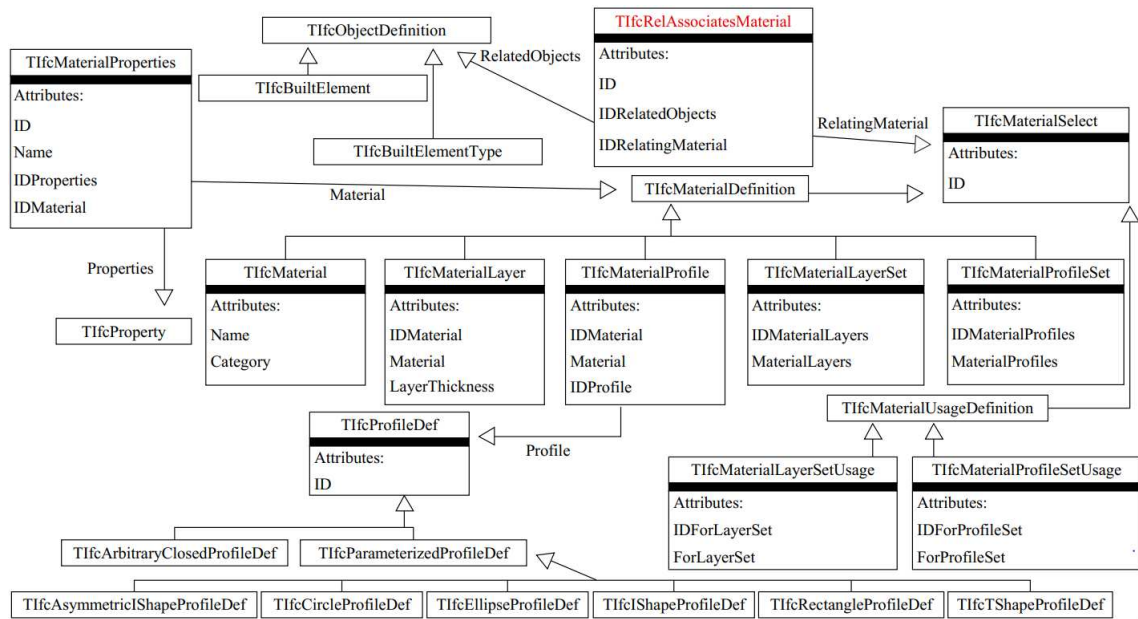
A entidade de relacionamento *IfcRelDefinesByProperties* é utilizada para estabelecer relacionamentos entre conjuntos de propriedades e objetos. Essa entidade possui um atributo chamado *RelatedObjects* (do tipo *IfcObjectDefinition*), que indica a quais objetos ou objeto o conjunto de propriedades definido pelo atributo *RelatingPropertyDefinition* será associado.

É importante observar que o relacionamento *IfcRelDefinesByProperties* não atribui um *IfcPropertySet* a um tipo de elemento. Essa forma de atribuição deve ser tratada por meio do atributo *HasPropertySets*, o qual os tipos de elementos herdam de *IfcTypeObject*.

Para aplicar uma definição de material a elementos ou a tipos de elementos, deve ser utilizado o relacionamento *IfcRelAssociatesMaterial*. Os materiais podem ser organizados em camadas e aplicados a elementos, como lajes e paredes. Para elementos como vigas e colunas, é possível aplicar o material em perfis. Uma definição de material é estabelecida por meio da instanciação de *IfcMaterial*, o que possibilita a especificação do nome do material (*IfcMaterial.Name*), da categoria (*IfcMaterial.Category*) e a associação de propriedades. Em situações em que é necessária apenas uma única informação de material, o relacionamento *IfcRelAssociatesMaterial* permite associar uma instância de *IfcMaterial* diretamente ao elemento ou ao tipo de elemento.

A entidade *IfcRelAssociatesMaterial* foi implementada no aplicativo, conforme demonstrado na Figura 3.7. Por meio do atributo *RelatingMaterial*, é especificada a definição de material atribuída aos elementos ou aos tipos de elementos, os quais são definidos pelo atributo *RelatedObjects*.

Figura 3.7 – TIfcRelAssociatesMaterial



Fonte: O autor (2024).

As classes instanciáveis são subtipos das classes *TIfcMaterialDefinition* e *TIfcMaterialUsageDefinition*. A entidade *IfcMaterialLayerSetUsage* define a aplicação de um conjunto de camadas de material (*IfcMaterialLayerSet*) em relação à geometria do elemento associado, considerando a localização e orientação. Esse conjunto de camadas é composto por camadas individuais definidas por instâncias de *IfcMaterialLayer*. Cada uma dessas instâncias pode ter uma definição de material associada (*IfcMaterial*) e um valor correspondente à sua espessura.

Da mesma forma, a entidade *IfcMaterialProfileSetUsage* define a aplicação de um conjunto de perfis de materiais (*IfcMaterialProfileSet*) em relação à geometria do elemento associado, considerando a localização. Esse conjunto de perfis é composto por seções individuais descritas por instâncias de *IfcMaterialProfile*. Cada uma dessas instâncias pode ter uma definição de material associada (*IfcMaterial*) e uma definição do tipo de seção descrita pelo atributo *Profile* que será combinada com a definição de material.

É importante observar que os subtipos de *IfcMaterialUsageDefinition* não podem ser atribuídos a tipos de elementos. Isso ocorre porque o uso de um conjunto de perfis ou de um conjunto de camadas é uma informação baseada na ocorrência de cada elemento individual.

O atributo *Profile* da classe *TIfcMaterialProfile* é do tipo *TIfcProfileDef*. No IFC, a entidade *IfcProfileDef* é o supertipo de todas as definições de perfis padrão e arbitrários. No

desenvolvimento do aplicativo, foram definidos subtipos relevantes de *IfcProfileDef* para mapear combinações entre definições de perfis e definições de materiais.

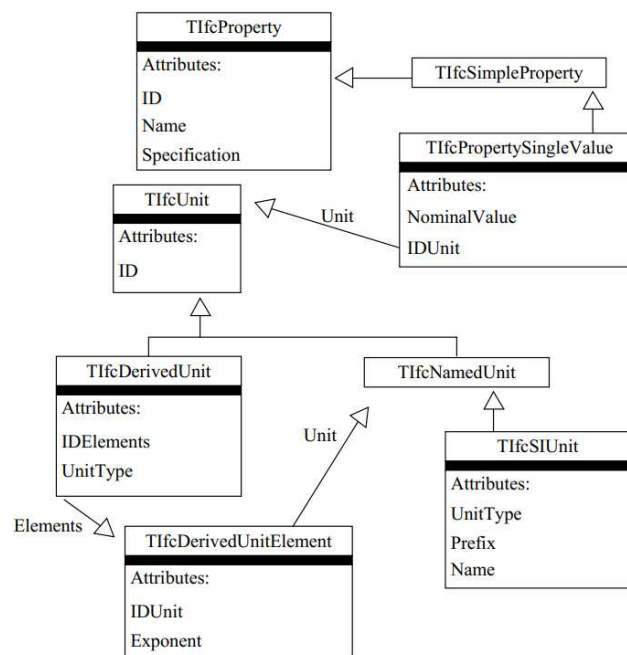
As propriedades podem ser vinculadas às definições de materiais por meio da entidade *IfcMaterialProperties*. O atributo *Properties* dessa entidade é utilizado para referenciar propriedades de materiais individuais que devem ser associadas a uma definição de material. Essa definição de material é referenciada pelo atributo *Material*, do tipo *IfcMaterialDefinition*.

c) Definição de propriedades

Na Figura 3.6, observar-se que o atributo *HasProperties* da classe *TIfcPropertySet* é do tipo *TIfcProperty*. A entidade *IfcProperty* é uma generalização de todos os tipos de propriedades que podem ser associadas através de conjuntos de propriedades a objetos IFC.

Um dos seus subtipos é a entidade abstrata *IfcSimpleProperty*, a qual possui subtipos que estabelecem diferentes maneiras para definir valores de propriedades. Para o desenvolvimento do BDCheck, considerou-se as propriedades que possuem valor único (seja numérico ou descritivo), uma vez que compreendem uma grande quantidade de dados que podem ser necessários. Essas propriedades são definidas pela instanciação da entidade *IfcPropertySingleValue* (Figura 3.8).

Figura 3.8 – TIfcPropertySingleValue



Fonte: O autor (2024).

O atributo *Name* corresponde ao nome da propriedade e deve ser definido de forma a transmitir o significado semântico. O atributo *Specification* pode ser utilizado para indicar a URI (*Uniform Resource Identifier*) de acesso ao local que contém a definição semântica ou texto descritivo que explique a propriedade. Nesse contexto, é relevante mencionar o bSDD (*buildingSMART Data Dictionary*), um serviço online que hospeda diversos tipos de definições, como as propriedades do IFC (buildingSMART, [s.d.]). Cada propriedade no bSDD contém uma URI que pode ser referenciada; isso permite o acesso às informações sobre essa propriedade, incluindo a sua descrição.

O atributo *NominalValue* especifica o valor e o tipo de medida da propriedade. Seguindo a documentação do IFC, também foi definido o atributo *Unit*, que fornece a unidade atribuída ao valor nominal. Quando uma unidade é composta por outras unidades, é instanciada *IfcDerivedUnit*. O atributo *UnitType* dessa entidade é um valor enumerado que representa o tipo de unidade derivada. O atributo *Elements* refere-se às unidades e seus expoentes usados para definir a unidade derivada.

Assim, cada grandeza unitária que constitui a unidade derivada é incluída na lista do atributo *Elements* e é representada por uma instância de *IfcDerivedUnitElement*. O atributo *Unit* de *IfcDerivedUnitElement* faz referência à *IfcNamedUnit*, que possui a entidade *IfcSIUnit* como um de seus subtipos. Essa entidade possui os atributos *UnitType*, *Name* e *Prefix*, definidos a partir de enumerações. O atributo *Name* se refere ao nome pelo qual a unidade SI é conhecida e o atributo *Prefix* é usado para identificar o nome do prefixo SI associado à unidade.

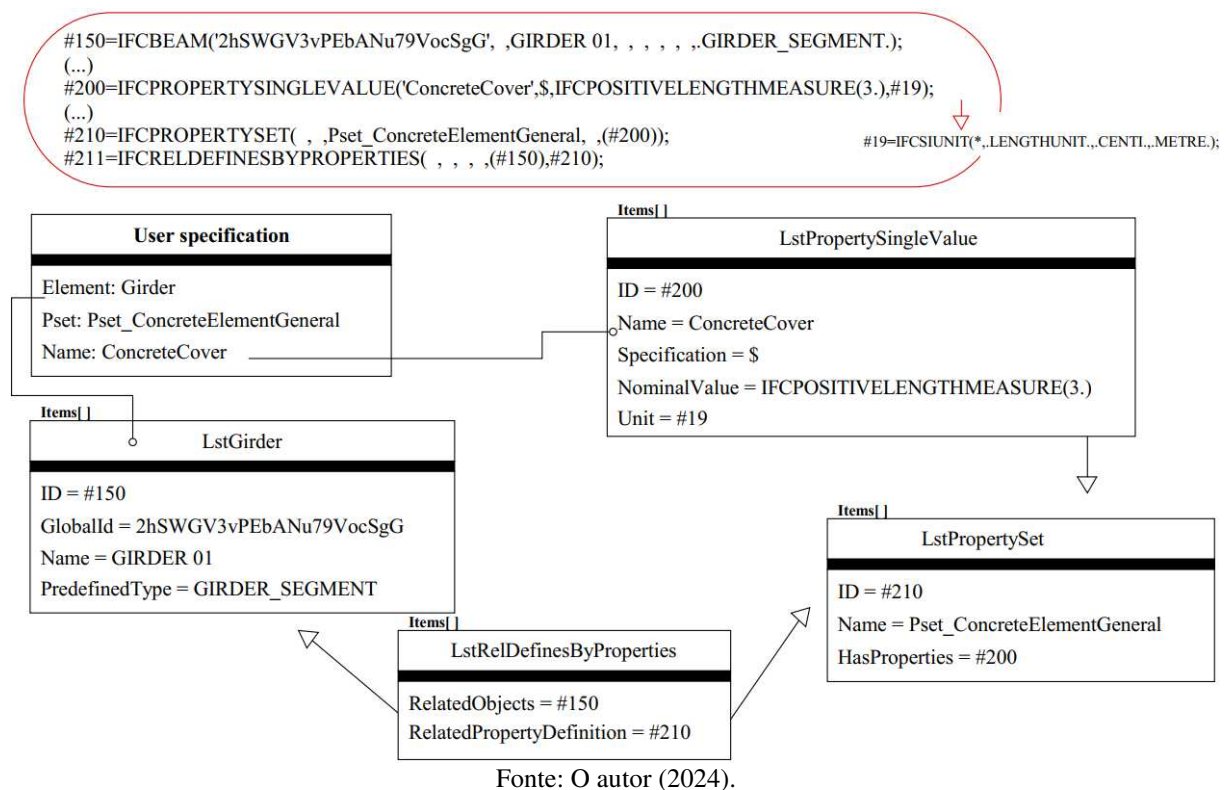
3.6.2.2 Análise dos dados armazenados nas listas

Para verificar se as propriedades solicitadas foram definidas e atribuídas aos elementos, é necessário acessar e relacionar as listas criadas durante a leitura do arquivo .ifc. Essa relação é estabelecida com base no atributo ID dos objetos. Para percorrer os itens/objetos das listas, foram definidos loops que iteram de 0 (índice do primeiro item de qualquer lista) até o número de itens incluídos na lista.

A definição das listas a serem acessadas foi estabelecida de acordo com os mecanismos utilizados para associar propriedades aos elementos ou às definições de materiais. Como o esquema IFC permite diferentes formas de associação, como a associação a ocorrências de elementos ou a tipos de elementos, foram configurados algoritmos para cobrir essas diferentes possibilidades.

O processo de verificação é coordenado pelo nome da propriedade e pelo nome do conjunto de propriedades ao qual essa propriedade pertence, juntamente com o elemento para o qual essa propriedade deve ter sido definida. A especificação do elemento determina qual lista de elementos será acessada (*LstGirder*, *LstFloor*, *LstColumn*). A *string* correspondente ao nome da propriedade (informada pelo usuário) será comparada com o valor do atributo *Name* dos objetos contidos na lista *LstPropertySingleValue*. Essa lista inclui todos os objetos referentes às instâncias de *IfcPropertySingleValue* presentes no arquivo.

Figura 3.9 – Verificação da atribuição de uma propriedade a uma longarina



Na Figura 3.9, pode-se visualizar um exemplo de verificação da atribuição de uma propriedade a uma longarina. A propriedade em questão refere-se à espessura da camada de cobrimento de concreto. Essa propriedade do IFC é descrita semanticamente pelo nome *ConcreteCover* e faz parte do conjunto de propriedades *Pset_ConcreteElementGeneral*. Na parte superior da Figura 3.9, algumas linhas de um arquivo .ifc são representadas com o propósito de ilustrar o processo de verificação.

No exemplo, o usuário estabeleceu a verificação da especificação do valor da espessura da camada de cobrimento para as longarinas do modelo. Para isso, a *string ConcreteCover* é comparada com o valor do atributo *Name* das instâncias de *IfcPropertySingleValue*. Após a

confirmação, procede-se à identificação do conjunto de propriedades ao qual essa propriedade está vinculada. Essa identificação é realizada comparando os IDs do atributo *HasProperties* das instâncias de *IfcPropertySet* com o ID da instância usada para definir a propriedade em questão. Em seguida, verifica-se se o conjunto de propriedades foi associado ao elemento com base nos atributos *RelatedPropertyDefinition* e *RelatedObjects* das instâncias de *IfcRelDefinesByProperties* presentes na lista *LstRelDefinesByProperties*.

O valor da propriedade é obtido a partir do atributo *NominalValue*, que, no exemplo, é igual a IFCPOSITIVELENGTHMEASURE(3.0). Para torná-lo mais compreensível, foi desenvolvida uma função que retorna o valor e a sua unidade. O atributo *Unit* faz referência a uma instância de *IfcSIUnit*, na qual se observa que foi definido um valor de prefixo igual a CENTI (10^{-2}) e o nome da unidade igual a METRE. Com base nesses dados, o valor da propriedade seria informado ao usuário da seguinte forma: 0,03 m ou 3 cm.

Essa forma de associação está considerando o uso do relacionamento *IfcRelDefinesByProperties*, contudo, também existe a possibilidade de o conjunto de propriedades ser atribuído aos tipos de elementos. Portanto, caso não seja encontrada a associação pela entidade de relacionamento, essa outra possibilidade é avaliada.

No que diz respeito à verificação das propriedades dos materiais, é essencial analisar se a propriedade foi definida, se foi atribuída a uma definição de material e se essa definição de material foi relacionada às ocorrências de elementos ou de tipos de elementos. No caso de estar relacionada a um tipo de elemento, é necessário verificar quais ocorrências de elementos compartilham desse tipo por meio da análise do relacionamento *IfcRelDefinesByType*.

Mostra-se na Figura 3.7 como é feita a atribuição de propriedades a definições de materiais, e como essas definições de materiais podem ser associadas a elementos e tipos de elementos. As diferentes formas pelas quais as associações podem ocorrer foram consideradas durante o desenvolvimento do código do aplicativo.

É válido explicar os casos em que o valor do atributo *Unit* de *IfcPropertySingleValue* não é especificado. Isso pode ocorrer, tendo em vista que se trata de um atributo opcional. Para ilustrar, a propriedade *MassDensity* pode ser definida da seguinte forma no arquivo .ifc (Figura 3.10), sem a definição do atributo *Unit*:

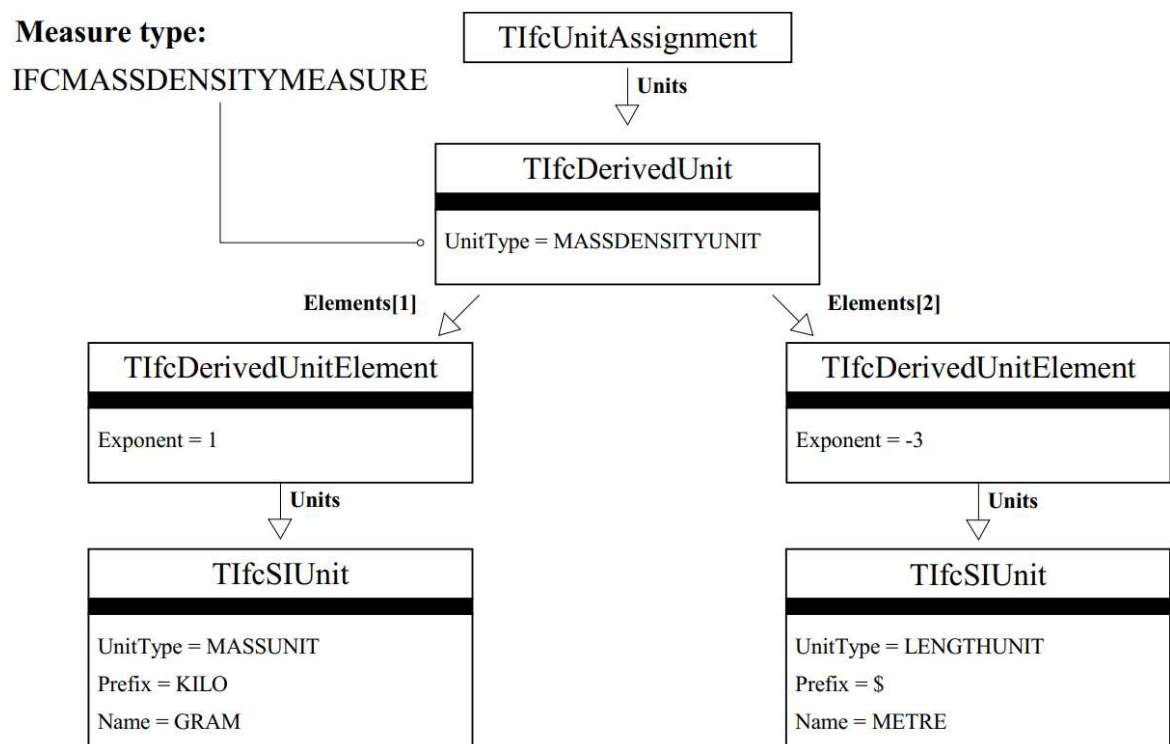
Figura 3.10 – Propriedade MassDensity

```
#4618=IFCPROPERTYSINGLEVALUE('MassDensity',$,IFCMASSDENSITYMEASURE(2400.),$);
```

Fonte: O autor (2024).

Quando isso ocorre, é necessário analisar a lista de unidades da instância de *IfcUnitAssignment* presente no arquivo. A entidade *IfcUnitAssignment* indica as unidades que podem ser atribuídas no projeto. Essa análise envolve a verificação do tipo de medida da propriedade (IFCMASSEDENSITYMEASURE) e do tipo de unidade dos subtipos de *IfcUnit* incluídos na lista de *IfcUnitAssignment*. Para essa finalidade, foi desenvolvida uma função que relaciona essas duas informações. Quando a correspondência entre elas é encontrada, a unidade do valor da propriedade é definida, conforme exemplificado na Figura 3.11.

Figura 3.11 – Definição de unidade atribuída à propriedade “MassDensity”



Fonte: O autor (2024).

Para o usuário, após o tratamento dos dados pelo BDCheck, o valor da propriedade é apresentado da seguinte forma: 2400 kgm^{-3} . A lista de unidades de *IfcUnitAssignment* será acessada nos casos em que o atributo *Unit* não for especificado, consoante prescreve a documentação do IFC.

3.6.3 Interface e funcionalidades do BDCheck

O BDCheck foi desenvolvido para verificar se as propriedades foram fornecidas e se estão em conformidade com as condições estabelecidas. A sua interface pode ser observada na Figura 3.12.

Figura 3.12 – Interface do BDCheck

The screenshot shows the BDCheck software interface. It is divided into two main sections. The left section, titled 'BDCheck', contains three sub-sections: 'Preliminary Check' with a button, 'Element Definition' with a dropdown menu and 'Add', 'Delete', and 'Confirm' buttons, and 'Property Definition' with dropdowns for 'Category', 'Pset', and 'Property', each with 'Add' and 'Delete' buttons. Below these is a 'Check Table' with columns 'Element', 'Property Set', 'Property', and 'Condition', and a 'Validate' button. The right section is titled 'Results Preview' and contains a 'Results' area and a 'Warning' button.

Fonte: O autor (2024).

Antes de realizar a verificação propriamente dita, deve-se usar o botão *Preliminary Check* para analisar se os elementos foram definidos com os parâmetros IFC adequados.

A interface contém os seguintes campos principais: *Element Definition*, *Property Definition*, *Check Table* e *Results Preview*.

- Em *Element Definition*, há uma caixa com opções relacionadas aos elementos da ponte disponíveis para seleção. Ao clicar no botão *Add*, o elemento escolhido é inserido na coluna *Element* da *Check Table*. Se o usuário selecionar *Girder*, significa que a análise será realizada para todos os elementos desse tipo inseridos no modelo.
- Em *Property Definition*, o usuário selecionará uma categoria, um conjunto de propriedades inserido nessa categoria e uma propriedade relacionada a esse conjunto. As opções serão habilitadas conforme as escolhas. É possível ampliar essa estrutura com propriedades adicionais, pois, a princípio, foram consideradas as propriedades do IFC.
- As opções escolhidas em *Pset* e *Property* são adicionadas na segunda e terceira coluna da *Check Table*, respectivamente. Na coluna *Condition*, é possível definir condições para analisar os valores das propriedades.

Após o preenchimento da *Check Table*, deve-se clicar no botão *Validate*. Ao fazer isso, uma janela será aberta para que seja escolhido o arquivo .ifc a ser checado. Os resultados das análises serão exibidos em *Results Preview*.

A interface pode ser restaurada para especificar novas diretrizes de verificação clicando no botão *New Check*. Cada análise será exibida em *Results Preview*, e após concluir todas as verificações necessárias, é possível gerar o relatório final clicando no botão *Generate Report*.

3.6.4 Relatório de resultados

A verificação preliminar fornece os seguintes resultados:

- número de instâncias de cada subtipo de *IfcBuiltElement* presente no arquivo;
- o valor do atributo *PredefinedType* dessas instâncias.

Ao realizar uma verificação de propriedade, o BDCheck fornece os seguintes dados para cada elemento analisado:

- *GlobalId*;
- nome do elemento;
- nome do material (se aplicável, como em propriedades de material – *IfcMaterial.Name*);
- nome do conjunto de propriedades;
- nome da propriedade;
- valor nominal da propriedade;
- análise da condição (para os casos em que um tipo de condição tenha sido definido).

Quando uma propriedade não é encontrada ou não foi associada ao elemento, no relatório é apresentado o nome do elemento e o seu *GlobalId*, acompanhados por uma mensagem informando que a propriedade correspondente não foi encontrada.

Adicionalmente, o relatório fornece um resumo do processo de verificação, incluindo as seguintes informações:

- total de propriedades analisadas;
- total de análises realizadas;
- total de análises com propriedade encontradas;
- total de análises com propriedade não encontradas;
- porcentagem de conformidade do modelo;

- total de condições verificadas;
- total de condições atendidas;
- total de condições não atendidas.

Sendo assim, o relatório contém os resultados para cada elemento verificado e uma visão geral relatando a conformidade do modelo com base nos requisitos definidos.

3.6.5 Tipos de condições

Os tipos de condições que podem ser aplicados e o formato em que devem ser inseridos são apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Tipos de condições

Condição	Formato (Última coluna da Check Table)
Igual	= (Lista de valores do usuário separados por ‘;’)
Menor que	< Valor do usuário
Maior que	> Valor do usuário
Menor ou igual	<= Valor do usuário
Maior ou igual	>= Valor do usuário
Entre um intervalo de valores	[(Valor do usuário) <= Resultado <= (Valor do usuário)]
Para um elemento específico	{(GlobalId); (Condição)}

Fonte: O autor (2024).

A análise é sempre realizada para todos os elementos do modelo que correspondem ao tipo especificado na coluna *Element* da *Check Table*. No entanto, o último formato permite especificar uma determinada condição para um elemento específico, contanto que seja informado o seu *GlobalId*.

A verificação de igualdade pode ser realizada para valores numéricos ou descritivos, sendo que o usuário deverá especificar uma lista de valores possíveis. No caso das verificações com valores numéricos, é necessário converter os valores inicialmente armazenados como *strings*.

Na Tabela 3.3, são apresentadas as unidades que devem ser consideradas ao definir uma condição. Algumas propriedades possuem unidades que geralmente incluem um prefixo. Nesses casos, é necessário especificar tanto o prefixo quanto a unidade. Por exemplo, ao criar uma condição para verificar a resistência à compressão do concreto (*CompressiveStrength*), o

usuário deve fornecer o valor de comparação em MPa. Da mesma forma, ao avaliar o valor do módulo de Young (*YoungModulus*) ou o módulo de elasticidade transversal (*ShearModulus*), os valores de referência devem ser fornecidos em GPa.

Tabela 3.3 – Unidades para a especificação de condições

Unidade	Descrição	Abreviação
Unidade de tempo	Segundos	s
Unidade comprimento	Metros	m
Unidade para ângulo	Radianos	rad
Unidade de pressão	Pascal	Pa
Unidade de massa	Quilogramas	kg
Unidade de área		m ²
Unidade de volume		m ³

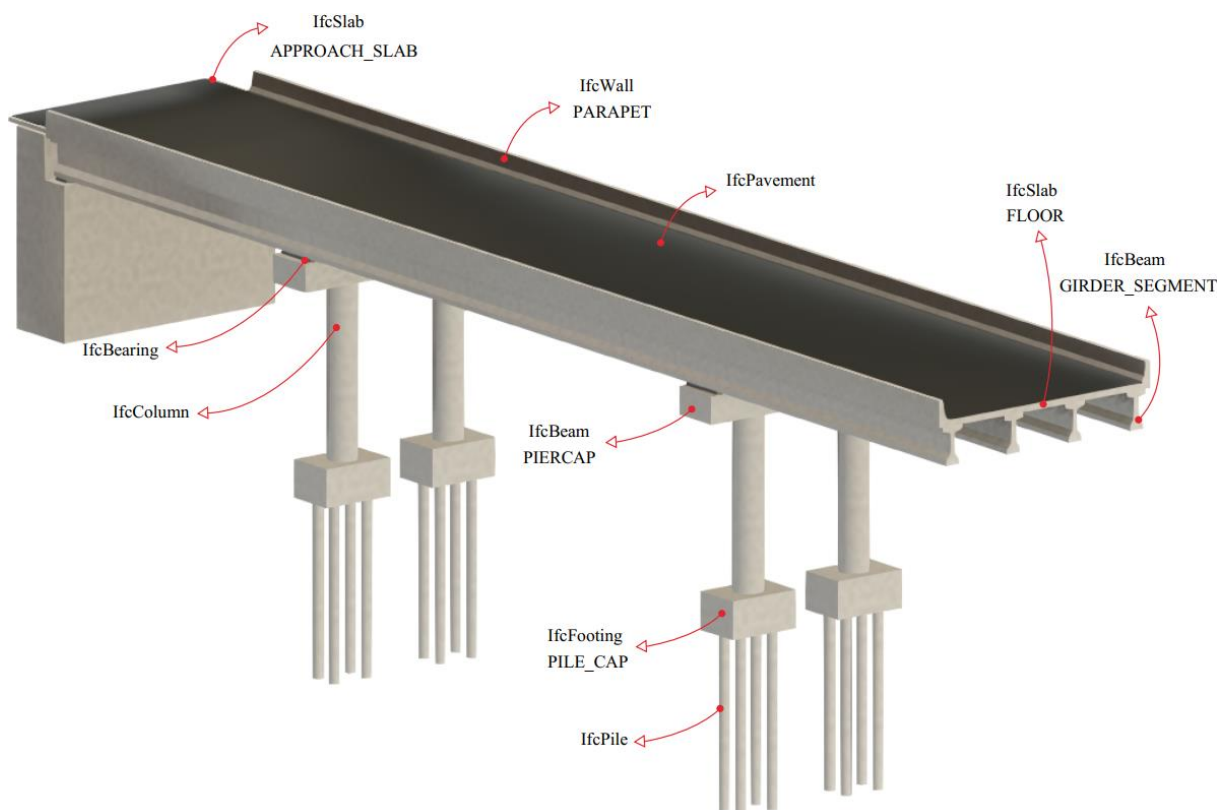
Fonte: O autor (2024).

O resultado da verificação de uma condição é uma descrição que informa se a condição foi atendida ou não. Essas condições são importantes para garantir que as propriedades dos elementos do modelo estejam em conformidade com os requisitos definidos.

3.6.6 Modelagem

A eficácia do BDCheck está estreitamente vinculada ao processo de modelagem, dado que os elementos da ponte são identificados pelo nome da entidade e, na maioria dos casos, pelo valor atribuído ao atributo *PredefinedType*. Dessa forma, é fundamental que, durante o desenvolvimento do modelo, o modelador especifique adequadamente os parâmetros IFC dos elementos, como ilustrado na Figura 3.13.

Figura 3.13 – Ponte modelada no Revit 2024



Fonte: O autor (2024).

Se os elementos não forem definidos corretamente, eles não serão reconhecidos durante a leitura do arquivo, o que prejudicaria a análise.

3.7 Resultados

O processo de validação das funcionalidades do BDCheck foi concluído após testes com várias pontes modeladas no software Revit 2024. Essas pontes foram exportadas na versão experimental IFC4x3 disponibilizada. Ao efetuar a modelagem com base nessa versão, os parâmetros IFC necessários para a correta definição dos elementos das pontes ficam disponíveis. Na sequência, são apresentados os testes realizados com uma das pontes, correspondente à ponte da Figura 3.13.

3.7.1 Teste 1: verificação preliminar – análise dos parâmetros IFC dos elementos

Os resultados da verificação preliminar do arquivo .ifc da ponte podem ser observados na Figura 3.14 e na Tabela 3.4.

Figura 3.14 – Verificação preliminar

IfcBeam:

- 11 instances of IfcBeam in total.
- 5 with PredefinedType equal to .DIAPHRAGM.
- 4 with PredefinedType equal to .GIRDER_SEGMENT.
- 2 with PredefinedType equal to .PIERCAP.

BDCheck

Preliminary Check

Element Definition

Element =

Property Definition

Category =

Pset =

Property =

Check Table

Element	Property Set	Property	Condition

Results Preview

Preliminary Check

IfcBeam:

- 11 instances of IfcBeam in total.
- 5 with PredefinedType equal to .DIAPHRAGM.
- 4 with PredefinedType equal to .GIRDER_SEGMENT.
- 2 with PredefinedType equal to .PIERCAP.

IfcSlab:

- 3 instances of IfcSlab in total.
- 2 with PredefinedType equal to .APPROACH_SLAB.
- 1 with PredefinedType equal to .FLOOR.

IfcWall:

- 2 instances of IfcWall in total.
- 2 with PredefinedType equal to .PARAPET.

IfcPavement:

- 1 instances of IfcPavement in total.
- 1 with PredefinedType equal to .NOTDEFINED.

IfcBearing:

- 16 instances of IfcBearing in total.
- 16 with PredefinedType equal to .NOTDEFINED.

IfcColumn:

- 4 instances of IfcColumn in total.
- 4 with PredefinedType equal to .COLUMN.

IfcFooting:

- 8 instances of IfcFooting in total.
- 4 with PredefinedType equal to .PILE_CAP.
- 4 with PredefinedType equal to .NOTDEFINED.

IfcPile:

- 16 instances of IfcPile in total.

Fonte: O autor (2024).

Tabela 3.4 – Verificação preliminar

Entidade	PredefinedType	Quantidade
IfcBeam	.DIAPHRAGM.	5
IfcBeam	.GIRDER_SEGMENT.	4
IfcBeam	.PIERCAP.	2
IfcSlab	.APPROACH_SLAB.	2
IfcSlab	.FLOOR.	1
IfcPavement	.NOTDEFINED.	1
IfcBearing	.NOTDEFINED.	16
IfcColumn	.COLUMN.	4
IfcFooting	.PILE_CAP.	4
IfcFooting	.NOTDEFINED.	4
IfcPile	.NOTDEFINED.	16

Fonte: O autor (2024).

Esses resultados são de grande relevância, pois permitem que o usuário verifique a conformidade dos parâmetros IFC dos elementos e, se necessário, solicite correções. Essa etapa é fundamental para assegurar a precisão do processo de verificação.

3.7.2 Teste 2: associação de material e definição de propriedade (YoungModulus)

O Teste 2 teve como objetivo verificar se uma definição de material foi atribuída às longarinas, bem como se o valor do módulo de Young (*YoungModulus*) do material foi devidamente fornecido. Além disso, foi especificada a condição de que, caso essa propriedade tenha sido definida, o seu valor deveria corresponder ao intervalo entre 25 GPa e 30 GPa. Os resultados desse teste estão apresentados na Figura 3.15 e detalhados na Tabela 3.5.

Figura 3.15 – Teste 2

GlobalId: 0JbH_MVbf9rvOzQsPUTIIJ
 Element Name: GIRDER 01
 Material: Concrete
 Pset: Pset_MaterialMechanical
 Property Name: YoungModulus
 Property Nominal Value: 28000000000 kgm-1s-2
 Condition Analysis: Condition met (25 GPa <= 28 GPa <= 30 GPa)

The screenshot shows the BDCheck software interface. On the left, the 'Preliminary Check' section includes an 'Element Definition' area with a dropdown for 'Element' and buttons for 'Add', 'Delete', and 'Confirm'. Below this is a 'Check Table' with columns for 'Element', 'Property Set', 'Property', and 'Condition'. The table shows a single entry for 'Girder' with 'Pset_MaterialMechanical' as the property set, 'YoungModulus' as the property, and the condition '[(25 GPa) <= Result <= (30 GPa)]'. On the right, the 'Results Preview' section displays a 'Validation Report' for the selected element. The report lists the GlobalId, Element Name, Material, Pset, Property Name, Property Nominal Value, and Condition Analysis. A red box highlights the first entry, which matches the information provided above the screenshot. Below the report, there is a 'Validation summary' section.

Fonte: O autor (2024).

Tabela 3.5 – Teste 2

IfcBeam.GlobalId	0JbH_MVbf9rvOzQsPUTIIJ	0JbH_MVbf9rvOzQsPUTIb5
IfcBeam.Name	GIRDER 01	GIRDER 02
IfcMaterial.Name	Concrete	Concrete
IfcMaterialProperties.Name	Pset_MaterialMechanical	Pset_MaterialMechanical
IfcPropertySingleValue.Name	YoungModulus	YoungModulus
IfcPropertySingleValue.NominalValue	28000000000 kgm ⁻¹ s ⁻²	28000000000 kgm ⁻¹ s ⁻²
Condition Analysis	25GPa <= 28GPa <= 30GPa	25GPa <= 28GPa <= 30GPa
IfcBeam.GlobalId	0JbH_MVbf9rvOzQsPUTIbl	0JbH_MVbf9rvOzQsPUTIbn

IfcBeam.Name	GIRDER 03	GIRDER 04
IfcMaterial.Name	Concrete	Concrete
IfcMaterialProperties.Name	Pset_MaterialMechanical	Pset_MaterialMechanical
IfcPropertySingleValue.Name	YoungModulus	YoungModulus
IfcPropertySingleValue.NominalValue	28000000000 kgm ⁻¹ s ⁻²	28000000000 kgm ⁻¹ s ⁻²
Condition Analysis	25GPa <= 28GPa <= 30GPa	25GPa <= 28GPa <= 30GPa
Resumo da verificação		
Total de propriedades analisadas	1	
Total de análises	4	
Total de análises com propriedade encontrada	4	
Total de análises com propriedade não encontrada	0	
Porcentagem de conformidade do modelo	100%	
Total de condições analisadas	Total de condições atendidas	Total de condições não atendidas
4	4	0

Fonte: O autor (2024).

Conforme observado, os resultados da verificação foram detalhados individualmente para cada longarina da ponte. O valor do módulo de Young foi encontrado como 28000000000 kg.m⁻¹.s⁻², estando de acordo com a condição estabelecida. No resumo da verificação, pode-se notar que a porcentagem de conformidade do modelo em relação ao que foi validado é igual a 100%.

3.7.3 *Teste 3: associação de material e definição de propriedade (MassDensity)*

Para o Teste 3, o material atribuído a uma das longarinas foi removido, e um novo arquivo .ifc foi gerado.

Figura 3.16 – Teste 3

BDCheck

Preliminary Check

Element Definition

Element =

Property Definition

Category =

Pset =

Property =

Check Table

Element	Property Set	Property	Condition
Girder	Pset_MaterialCommon	MassDensity	

Results Preview

GlobalId: 0JbH_MVbf9rvOzQsPUTIbJ
Element Name: GIRDER 01
Material: Concrete
Pset: Pset_MaterialCommon
Property Name: MassDensity
Property Nominal Value: 2500 kgm-3

GlobalId: 0JbH_MVbf9rvOzQsPUTIb5
Element Name: GIRDER 02
Material: Concrete
Pset: Pset_MaterialCommon
Property Name: MassDensity
Property Nominal Value: 2500 kgm-3

GlobalId: 0JbH_MVbf9rvOzQsPUTIbI
Element Name: GIRDER 03
Material: Concrete
Pset: Pset_MaterialCommon
Property Name: MassDensity
Property Nominal Value: 2500 kgm-3

GlobalId: 0JbH_MVbf9rvOzQsPUTIbn
Element Name: GIRDER 04
Material: Concrete
Pset: Pset_MaterialCommon
Property Name: MassDensity
Property Nominal Value: 2500 kgm-3

Validation summary:

Total properties analyzed: 1
Total analyses: 4
Total analyses with property found: 3
Total analyses with property not found: 1
Model compliance percentage: 75%

Total properties analyzed: 1
Total analyses: 4
Total analyses with property found: 3
Total analyses with property not found: 1
Model compliance percentage: 75%

Fonte: O autor (2024).

Tabela 3.6 – Teste 3

IfcBeam.GlobalId	0JbH_MVbf9rvOzQsPUTIbJ	0JbH_MVbf9rvOzQsPUTIb5
IfcBeam.Name	GIRDER 01	GIRDER 02
IfcMaterial.Name	Concrete	Concrete
IfcMaterialProperties.Name	Pset_MaterialCommon	Pset_MaterialCommon
IfcPropertySingleValue.Name	MassDensity	MassDensity
IfcPropertySingleValue.NominalValue	2500 kgm ⁻³	2500 kgm ⁻³
IfcBeam.GlobalId	0JbH_MVbf9rvOzQsPUTIbI	0JbH_MVbf9rvOzQsPUTIbn
IfcBeam.Name	GIRDER 03	GIRDER 04
IfcMaterial.Name	Concrete	-
IfcMaterialProperties.Name	Pset_MaterialCommon	-
IfcPropertySingleValue.Name	MassDensity	Property "MassDensity" not found
IfcPropertySingleValue.NominalValue	2500 kgm ⁻³	Not found
Resumo da verificação		
Total de propriedades analisadas	1	
Total de análises	4	
Total de análises com propriedade encontrada	3	

Total de análises com propriedade não encontrada	1
Porcentagem de conformidade do modelo	75%

Fonte: O autor (2024).

Os resultados, apresentados na Figura 3.16 e detalhados na Tabela 3.6, demonstram a verificação da propriedade *MassDensity* do material atribuído às longarinas. Foi informada uma taxa de conformidade de 75%, visto que uma das longarinas (GIRDER 04) não possui material associado.

3.8 Discussão

As propriedades têm uma importante função na troca de dados baseada em IFC, pois podem capturar requisitos adicionais necessários para o intercâmbio de dados em nível nacional, regional ou organizacional, sem a necessidade de consenso internacional (Borrmann *et al.*, 2019). Para que esse recurso possa ser aplicado de forma eficiente, é necessário que as propriedades sejam especificadas de maneira padronizada, de modo a serem validadas.

Visando assegurar a entrega e conformidade das propriedades, apresenta-se uma proposta para a verificação de dados IFC de modelos de pontes, por meio da ferramenta BDCheck. Esta ferramenta identifica os componentes da ponte através da leitura do arquivo .ifc e verifica se as propriedades necessárias, com os valores corretos, foram atribuídas a eles. A identificação de cada elemento é baseada nos parâmetros IFC que os definem, o que realça a importância do processo de criação do modelo para a eficácia do BDCheck.

Conforme apontado por Eastman *et al.* (2009), a etapa de preparação do modelo é descrita como fundamental para assegurar processos de verificação consistentes, uma vez que cada objeto do modelo possui um significado próprio e precisa ser corretamente definido.

As funcionalidades do BDCheck foram testadas em várias pontes modeladas no software Revit 2024, atestando a sua capacidade de ler os arquivos em formato .ifc e fornecer os resultados do processo de verificação. Com base na recomendação apresentada por Eastman *et al.* (2009), os resultados dos testes de verificação são emitidos no relatório de resultados para cada ocorrência de um determinado tipo de elemento testado, juntamente com o identificador exclusivo desse elemento. Isso é importante para facilitar a localização desse elemento no modelo e permitir a sua correção, caso seja necessário.

Também mencionado por Eastman *et al.* (2009), outro aspecto importante no processo de verificação refere-se à checagem preliminar do modelo para avaliar se ele contém as

informações necessárias para a efetuar a análise. Nesse sentido, foi implementado o recurso de verificação preliminar no BDCheck, o qual tem por objetivo informar os parâmetros IFC que descrevem os elementos físicos da ponte. Isso é fundamental para certificar que os elementos tenham sido definidos adequadamente, carregando a semântica do tipo de elemento de construção que representam.

Além dos resultados discriminados individualmente, o relatório de resultados emitido pelo BDCheck contém o resumo do processo de verificação, fornecendo informações que oferecem uma visão geral da análise em um primeiro momento. Os testes apresentados evidenciaram todos esses aspectos. Importante destacar que os testes 2 e 3 referiram-se à análise de uma propriedade; no entanto, o BDCheck é capaz de verificar diversas propriedades simultaneamente para diferentes tipos de elementos.

Integrar a ferramenta proposta ao fluxo de trabalho de uma organização pode otimizar a verificação dos dados, aplicando-a após cada entrega de informações. Nesse cenário, o responsável pela verificação insere os dados na *Check Table* com base em um conjunto predefinido de requisitos fornecido pela parte solicitante, seja em forma de lista, tabela ou arquivo. Os recursos da ferramenta podem ser expandidos para atender às necessidades específicas da organização, como a adição de novas categorias de dados, a expansão das categorias existentes e o aprimoramento da sua capacidade para checar diferentes tipos de dados.

3.9 Considerações finais

A implementação do IFC para projetos de infraestrutura representa um marco importante que impulsionará o desenvolvimento de mecanismos destinados a aprimorar a qualidade dessas construções. Neste contexto, este trabalho apresenta uma proposta para a verificação automática de dados IFC de modelos de pontes, viabilizada pela ferramenta BDCheck. Esta proposta visa contribuir para garantir a disponibilidade e integridade das informações do modelo, o que se mostra fundamental para o gerenciamento eficiente da construção ao longo de todo o seu ciclo de vida.

Desenvolvido em Delphi, o BDCheck possui a capacidade de ler arquivos .ifc de modelos de pontes, identificando definições de elementos construtivos, materiais, propriedades e seus relacionamentos. Os parâmetros de entrada para a verificação pelo aplicativo podem ser configurados com base em uma estrutura cuidadosamente definida, pensada para facilitar a

localização e o gerenciamento das informações, resultando em um processo de verificação mais eficiente.

Os resultados da verificação são emitidos para cada definição de componente construtivo testado, informando o *GlobalId*, o nome desse componente, o material aplicado (no caso da verificação de propriedades do material), o nome do conjunto de propriedades, bem como o nome e o valor da propriedade. Com base em condições predefinidas, os valores das propriedades podem ser avaliados quanto à sua precisão. Além dos resultados individuais, é gerado um resumo da verificação que indica, por exemplo, a porcentagem de conformidade do modelo em relação ao que foi verificado.

O desenvolvimento de mecanismos para verificar a integridade de arquivos .ifc é essencial para garantir a qualidade dos dados. Essa garantia de qualidade desempenha um papel fundamental na promoção da aceitação e adoção do IFC, pois aumenta a confiança dos usuários finais. Como resultado, níveis mais elevados de interoperabilidade de dados podem ser alcançados, o que, por sua vez, favorecerá a melhoria da eficiência dos fluxos de trabalho colaborativos.

Dado o sólido sistema de funcionamento do BDCheck, há planos para estender as suas funcionalidades no futuro, a fim de abranger a verificação de propriedades definidas por outras entidades do IFC. Além disso, em desenvolvimentos posteriores, pretende-se incorporar ao BDCheck uma funcionalidade que permita interpretar automaticamente especificações de informações provenientes de listas, tabelas ou arquivos. Com esse recurso, a entrada de dados ocorreria de maneira automatizada.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores agradecem o suporte oferecido pelo DNIT e a Universidade Federal de Viçosa (por meio do TED 703/2020) e reconhecem também a colaboração do grupo de pesquisa TechBIM.

Referências

ABUALDENIEN, J.; BORRMANN, A. A meta-model approach for formal specification and consistent management of multi-LOD building models. **Advanced Engineering Informatics**, v. 40, p. 135–153, 2019.

ABUALDENIEN, J.; BORRMANN, A. Levels of detail, development, definition, and information need: a critical literature review. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 27, p. 363–392, 19 abr. 2022.

AGCA. **The Contractor's Guide to BIM**. Associated General Contractors of America, 2005.

AIA. **Building Information Modeling Protocol Exhibit**. The American Institute of Architects, 2008.

AMOR, R.; DIMYADI, J. The promise of automated compliance checking. **Developments in the Built Environment**, v. 5, 1 mar. 2021.

BAZJANAC, V. **IFC BIM-Based Methodology for Semi Automated Building Energy Performance Simulation**. CIB-W78 25th International Conference on Information Technology in Construction. **Anais...**Santiago: 2008.

BIMFORUM. **LEVEL OF DEVELOPMENT (LOD) SPECIFICATION**. 2021. Disponível em: <<https://bimforum.org/resource/lod-level-of-development-lod-specification/>>. Acesso em: 8 nov. 2023.

BIMFORUM. **Level of Development (LOD) Specification 2021 Supplement**. 2022. Disponível em: <<https://bimforum.org/resource/lod-level-of-development-lod-specification/>>. Acesso em: 8 nov. 2023.

BOLPAGNI, M. **The Many Faces of 'LOD'**. Disponível em: <<https://www.bimthinkspace.com/2016/07/the-many-faces-of-lod.html>>. Acesso em: 25 fev. 2023.

BOLPAGNI, M.; CIRIBINI, A. **The Information Modeling and the Progression of Data-Driven Projects**. CIB World Building Congress. **Anais...**2016.

BOLPAGNI, M.; HOOPER, E. **Information management according to BS EN ISO 19650 - Guidance Part D - Developing information requirements**. UK BIM Framework, 2021.

BORRMANN, A. *et al.* **The IFC-Bridge project – Extending the IFC standard to enable high-quality exchange of bridge information models**. European Conference on Computing in Construction. **Anais...**10 jul. 2019.

BS EN 17412-1:2020. **Building Information Modelling - Level of Information Need - Concepts and principles**. 2020.

BUILDINGSMART. **BuildingSMART International Infrastructure Room - Work Plan 2015 - Summary**. 2015.

BUILDINGSMART. **IFC Specifications Database**. Disponível em: <<https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/>>. Acesso em: 7 out. 2023.

BUILDINGSMART. **Model View Definition (MVD) - An Introduction**. Disponível em: <<https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/mvd/>>. Acesso em: 29 set. 2023a.

BUILDINGSMART. **MVD Database**. Disponível em: <<https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/mvd/mvd-database/>>. Acesso em: 29 set. 2023b.

BUILDINGSMART. **buildingSMART Data Dictionary**. Disponível em: <<https://www.buildingsmart.org/users/services/buildingsmart-data-dictionary/>>. Acesso em: 11 out. 2023c.

CASTAING, C. *et al.* **IFC Bridge Project Plan**. buildingSMART Infra Room, 2017. Disponível em: <<https://www.buildingsmart.org/standards/domains/infrastructure/ifc-bridge/>>. Acesso em: 9 out. 2023.

CASTAING, C. *et al.* **IFC Bridge Fast Track Project - Report WP2: Conceptual Model**. buildingSMART Infra Room, 2018a. Disponível em: <<https://www.buildingsmart.org/standards/domains/infrastructure/ifc-bridge/>>. Acesso em: 8 nov. 2023.

CASTAING, C. *et al.* **IFC-Bridge Fast Track Project - Report WP1: Requirements analysis**. buildingSMART Infra Room, 2018b. Disponível em: <<https://www.buildingsmart.org/standards/domains/infrastructure/ifc-bridge/>>. Acesso em: 8 nov. 2023.

CHIPMAN, T. **Bridge Information Model Standardization**. Federal Highway Administration, 2016. v. II

COSTIN, A. *et al.* Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure – Literature review, applications, challenges, and recommendations. **Automation in Construction**, v. 94, p. 257–281, 1 out. 2018.

DING, L. *et al.* Automating code checking for building designs-Design Check. 2006.

EASTMAN, C. *et al.* Automatic rule-based checking of building designs. **Automation in Construction**, v. 18, n. 8, p. 1011–1033, 1 dez. 2009.

EASTMAN, C. *et al.* **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. 2° ed. John Wiley & Sons, 2011.

GIGANTE-BARRERA, A. *et al.* A Grounded Theory Based Framework for Level of Development Implementation Within the Information Delivery Manual. **International Journal of 3-D Information Modeling**, v. 7, n. 1, p. 30–48, 1 jan. 2018.

HÄFELE, K.-H.; GEIGER, A.; LIEBICH, T. Coordination View Version 2.0 for IFC 2x3. 2013.

HIETANEN, J. **IFC Model View Definition Format**. International Alliance for Interoperability, 2006. Disponível em:

<<https://technical.buildingsmart.org/standards/information-delivery-manual/>>. Acesso em: 8 nov. 2023.

HOOPEER, E. **IFC for infrastructure**. Disponível em: <<https://aecmag.com/collaboration/ifc-for-infrastructure/>>. Acesso em: 9 out. 2023.

ISO 16739-1:2018. **Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries — Part 1: Data schema**. 2018.

ISO 19650-1:2018. **Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles**. 2018.

KHEMLANI, L. **The IFC Building Model: A Look Under the Hood**. Disponível em: <<https://www.aecbytes.com/feature/2004/IFC.html>>. Acesso em: 28 fev. 2023.

KHEMLANI, L. **CORENET e-PlanCheck: Singapore's Automated Code Checking System**. Disponível em: <<https://www.aecbytes.com/feature/2005/CORENETePlanCheck.html>>. Acesso em: 4 out. 2023.

LAAKSO, M. THE IFC STANDARD - A REVIEW OF HISTORY, DEVELOPMENT, AND STANDARDIZATION. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 17, n. 9, p. 134–161, 30 maio 2012.

LEE, Y. C.; EASTMAN, C. M.; SOLIHIN, W. Logic for ensuring the data exchange integrity of building information models. **Automation in Construction**, v. 93, p. 388–401, 1 set. 2018.

LIEBICH, T. **IFC Alignment 1.1 project, IFC Schema extension proposal**. buildingSMART, 2017. Acesso em: 7 out. 2023.

LIEBICH, T.; WIX, J. Highlights of the development process of industry foundation classes. 1999.

LOVE, P. E. D. *et al.* A benefits realization management building information modeling framework for asset owners. **Automation in Construction**, v. 37, p. 1–10, 1 jan. 2014.

MALSANE, S. *et al.* Development of an object model for automated compliance checking. **Automation in Construction**, v. 49, n. PA, p. 51–58, 1 jan. 2015.

NATSPEC. **NATSPEC National BIM Guide**. Construction Information Systems Limited, 2022.

NAWARI, N. O. **BIM-Model Checking in Building Design**. Structures Congress 2012. *Anais...*2012.

NIBS. **National Building Information Modeling Standard**. National Institute of Building Sciences, 2007.

PINHEIRO, S. *et al.* MVD based information exchange between BIM and building energy performance simulation. **Automation in Construction**, v. 90, p. 91–103, 1 jun. 2018.

SACKS, R. *et al.* The Rosewood experiment — Building information modeling and interoperability for architectural precast facades. **Automation in Construction**, v. 19, n. 4, p. 419–432, 1 jul. 2010.

SEE, R.; KARLSHØJ, J.; DAVIS, D. **An Integrated Process for Delivering IFC Based Data Exchange**. buildingSMART International, 2012. Disponível em: <<https://technical.buildingsmart.org/standards/information-delivery-manual/>>. Acesso em: 8 nov. 2023.

SOLIHIN, W.; EASTMAN, C. Classification of rules for automated BIM rule checking development. **Automation in Construction**, v. 53, p. 69–82, 1 maio 2015.

SOLIHIN, W.; EASTMAN, C.; LEE, Y. C. Toward robust and quantifiable automated IFC quality validation. **Advanced Engineering Informatics**, v. 29, n. 3, p. 739–756, 1 ago. 2015.

SON, S. *et al.* Automated generation of a model view definition from an information delivery manual using idmXSD and buildingSMART data dictionary. **Advanced Engineering Informatics**, v. 54, p. 101731, 1 out. 2022.

STEEL, J.; DROGEMULLER, R.; TOTH, B. Model interoperability in building information modelling. **Software and Systems Modeling**, v. 11, n. 1, p. 99–109, 7 fev. 2012.

UK BIM FRAMEWORK. **ISO 19650 Guidance D: Developing information requirements**. 2022.

VAN BERLO, L. **The curious case of the MVD**. Disponível em: <<https://www.buildingsmart.org/the-curious-case-of-the-mvd/>>. Acesso em: 29 set. 2023.

VAN BERLO, L. A. H. M.; BOMHOF, F. **Creating the Dutch National BIM Levels of Development**. International Conference on Computing in Civil and Building Engineering. **Anais...**2014.

VENUGOPAL, M. *et al.* Semantics of model views for information exchanges using the industry foundation class schema. **Advanced Engineering Informatics**, v. 26, n. 2, p. 411–428, 1 abr. 2012.

WIX, J.; KARLSHØJ, J. **Information Delivery Manual Guide to Components and Development Methods**. buildingSMART International, 2010. Disponível em: <<https://technical.buildingsmart.org/standards/information-delivery-manual/>>. Acesso em: 8 nov. 2023.

CAPÍTULO 4

Avaliação das perspectivas do *Level of Development* (LOD) e estabelecimento de uma abordagem integrada para a especificação e verificação de dados IFC de modelos de pontes

Resumo

A estrutura LOD é amplamente utilizada no planejamento e gerenciamento de projetos, mas a necessidade de uma metodologia mais precisa para especificar a extensão e granularidade das informações levou à introdução do conceito de *Level of Information Need*. Embora não substitua completamente o LOD, esse novo termo tende a influenciar em seu escopo. Este artigo busca contribuir para o entendimento do LOD e identificar as suas perspectivas futuras. Para isso, foi realizada uma análise de 65 documentos de diversos países. Observou-se que a perspectiva mais provável é a inclusão do LOD em um escopo mais abrangente, limitando a sua finalidade à descrição de informações geométricas. Além disso, propõe-se uma abordagem integrada para auxiliar na especificação e verificação de dados IFC de modelos de pontes. Essa abordagem é viabilizada pela utilização conjunta de dois aplicativos: BDSpec (*Bridge Data Specification*) e BDCheck (*Bridge Data Checker*), ambos desenvolvidos em Delphi. O primeiro estabelece os dados necessários, gerando um arquivo que serve como referência tanto para o desenvolvimento do modelo quanto para a verificação pelo segundo aplicativo. O BDCheck realiza a leitura de arquivos .ifc de pontes, com foco na verificação de propriedades. A incorporação dessa abordagem ao fluxo de trabalho de uma organização, juntamente com a expansão das funcionalidades das ferramentas, tem potencial para facilitar o gerenciamento de informações, melhorar a comunicação e assegurar a qualidade dos dados.

Palavras-chave: IFC. Pontes. buildingSMART Data Dictionary. bSDD. Information Delivery Specification. IDS. Level of Information Need.

4.1 Introdução

Building Information Modeling (BIM) se refere a um conjunto de processos, políticas e tecnologias, conforme definido por Succar (2009), que constituem uma metodologia para a criação e gerenciamento dos dados de uma instalação ao longo de todo o seu ciclo de vida (Penttilä, 2006). O principal produto dessa metodologia é o *Building Information Model*, uma representação digital da construção, rica em dados, orientada a objetos e paramétrica (AGCA, 2005; NIBS, 2007).

O BIM modifica os processos tradicionais da indústria, movendo-se em direção a um fluxo de trabalho integrado e interoperável, onde as atividades são realizadas com base em processos coordenados e colaborativos (Eastman *et al.*, 2011).

Ao trabalhar de forma colaborativa, as partes envolvidas precisam estar cientes do que esperar umas das outras em diferentes etapas e devem compreender o status de desenvolvimento dos elementos. Em um modelo, é fácil equivocar-se na interpretação do significado associado ao nível de detalhe com o qual o elemento está sendo representado (AIA, 2013). A título de comparação, os desenhos feitos à mão variam desde esboços simples até desenhos detalhados, de modo que é possível inferir o esforço e o pensamento investidos pelo projetista. Dessa forma, é razoável presumir que, se o projetista dedicou tempo e empenho para fornecer um desenho com elevado nível de precisão e dados adicionais associados, significa que ele analisou cuidadosamente as informações. Assim, pode-se concluir com segurança que essas informações foram suficientemente desenvolvidas para o objetivo visado (AIA, 2013).

Em um BIM, entretanto, não é recomendado presumir, apenas com base na representação detalhada, que um elemento esteja suficientemente desenvolvido para os usos pretendidos (AIA, 2013). Isso ocorre porque elementos aparentemente idênticos podem conter quantidades de informações bastante distintas. Enquanto um pode apresentar um baixo nível de informação, o outro pode conter uma fonte abrangente de dados, incluindo informações do fabricante, dados de manutenção, número do modelo, data da compra, data de instalação, entre outros.

Além disso, tanto os dados quanto a geometria não oferecem indicações sobre o quão bem desenvolvido o elemento está para a finalidade estabelecida ou sobre o nível de confiança que os usuários podem inferir ao analisá-lo. Esses aspectos são evidenciados pelo *Level of Development* (NATSPEC, 2022), que se refere a uma estrutura de níveis cumulativos de requisitos de informações.

Esse termo tornou-se amplamente difundido como uma ferramenta para auxiliar no planejamento e gerenciamento de projetos. No entanto, não está isento de problemas. Pelo contrário, frequentemente, o LOD é entendido e aplicado de uma forma não tão apropriada. Entre os projetistas, é possível verificar diferentes interpretações, falta de entendimento ou uma dificuldade em definir o que se espera em cada nível de LOD. Em busca de estabelecer uma metodologia mais clara para a definição das informações necessárias, foram estabelecidos os conceitos e princípios relacionados ao *Level of Information Need* (UK BIM Framework, 2022). Esse termo tem ganhado notoriedade e tem influenciado no entendimento e aplicação do LOD.

Diante desses fatores, o primeiro objetivo deste artigo consiste em realizar uma análise abrangente do LOD, apontando a sua finalidade, a maneira adequada de aplicação e especificação. Além disso, busca-se traçar as suas perspectivas futuras. Para atingir esse objetivo, foram coletados e analisados diversos documentos BIM de diferentes países, identificando e analisando as abordagens utilizadas em cada um deles acerca desse tema. A análise destes documentos, especialmente dos mais recentes, permitiu formular projeções sobre o futuro do LOD.

Assim, o segundo objetivo foi desenvolver uma abordagem integrada para a especificação e verificação das informações em modelos BIM de pontes. O objetivo principal desta abordagem é facilitar a comunicação, tornando evidente não só quais informações devem ser fornecidas, mas também em que formato, ao mesmo tempo em que busca garantir a disponibilidade e a integridade dos dados do modelo. Essa proposta se baseia na necessidade de aprimorar os procedimentos para especificar de forma clara as informações necessárias e de estabelecer mecanismos eficazes para verificar os dados fornecidos.

A abordagem proposta tem como base a troca de dados no formato IFC e é viabilizada através da utilização de dois aplicativos: BDSpec (*Bridge Data Specification*) e BDCheck (*Bridge Data Checker*), ambos desenvolvidos em Delphi. O BDSpec é destinado à especificação das informações necessárias, levando em consideração as exigências de informação das diversas partes envolvidas no empreendimento, como cliente, equipe de projeto, construtor e fabricante. Por sua vez, o BDCheck trata-se da ferramenta apresentada no capítulo anterior, cujo objetivo principal é verificar os dados em arquivos .ifc de pontes.

Neste trabalho, é introduzido um novo recurso no BDCheck para permitir a sua integração com o BDSpec. Com esse recurso, o BDCheck é capaz de interpretar o arquivo de requisitos gerado pelo BDSpec. Este arquivo de requisitos possui uma estrutura que possibilita

a sua utilização tanto como referência para o desenvolvimento do modelo quanto como entrada para a verificação do arquivo .ifc.

Direcionada para pontes, a abordagem proposta busca promover a adoção do formato IFC para esse tipo de estrutura. A extensão do esquema IFC para a descrição de obras de infraestrutura, resultado de diversos esforços internacionais, representa um avanço significativo que possibilitará melhorias nos processos convencionais da indústria. Esse avanço é especialmente relevante para o aumento dos níveis de colaboração, pois permite que as diferentes partes envolvidas em um empreendimento trabalhem com as ferramentas de sua escolha, ao mesmo tempo em que conseguem trocar e compartilhar informações.

Porém, é fundamental que esse avanço seja sustentado por processos e protocolos bem definidos; é nesse contexto que a abordagem proposta se apresenta. Além de auxiliar na colaboração, o princípio desta abordagem visa o processo de verificação do arquivo .ifc, de modo a transmitir confiança aos usuários finais ao utilizá-lo.

4.2 Metodologia

4.2.1 Análise do LOD

O *Level of Development* é um dos principais elementos abordados em grande parte de documentos, guias e especificações que tratam de orientações, protocolos e práticas relacionadas ao BIM. Desse modo, para analisá-lo, foram coletados e armazenados 100 documentos de diversos países. Após a exclusão de documentos duplicados e daqueles que não abordam o LOD ou metodologia semelhante, restaram 65 documentos.

A análise incluiu documentos compreendidos entre os anos de 2007 e 2023, a fim de verificar a evolução do termo ao longo do tempo. Todavia, para possibilitar a definição de perspectivas futuras para o LOD, foram priorizados documentos dos últimos 6 anos. Esse período foi considerado por corresponder ao tempo em que o termo *Level of Information Need* foi introduzido.

A análise dos documentos teve como base a identificação e classificação da abordagem adotada em cada um deles em relação à metodologia utilizada para especificar o grau de desenvolvimento e a necessidade de informações do modelo ou elementos do modelo. Foi elaborada uma tabela com as seguintes informações: ano, país de origem, referência do documento e abordagem adotada. Apesar de não terem sido incluídas na tabela, anotações

relativas a cada documento foram realizadas, sendo essas essenciais para obter uma compreensão mais aprofundada sobre a aplicação dos diferentes protocolos.

Além disso, foi realizada uma análise de uma representação gráfica da frequência de utilização de determinados termos. Para obter uma representação mais fidedigna, os termos identificados nas abordagens foram refinados, excluindo-se, por exemplo, a palavra *Level* associada a eles. Isso foi necessário para evitar distorções na representação gráfica, uma vez que a palavra *Level* está frequentemente associada a diversos termos, como *Development*, *Definition*, *Detail*, *Information* e *Geometry*.

Outro aspecto considerado na análise refere-se às organizações e aos documentos utilizados como referência, estabelecendo e examinando os principais. Essas análises não apenas possibilitaram obter um entendimento claro em relação ao LOD, mas também permitiram identificar três perspectivas para o seu futuro.

4.2.2 Ferramentas para a implementação da abordagem proposta

Após a análise realizada sobre o LOD, foram identificados os elementos essenciais para a definição de informações que possibilitem um fornecimento e troca eficientes de dados. Assim, desenvolveu-se o BDSpec, destinado a especificar as informações necessárias em projetos de pontes. O seu desenvolvimento foi realizado em Delphi, uma linguagem de programação orientada a objetos.

A utilidade do BDSpec é fundamentada na troca de informações baseada no *Industry Foundation Classes* (IFC), um esquema de dados aberto. Os elementos da ponte, quando codificados em IFC, são descritos por parâmetros específicos. Assim, a partir da análise da documentação do IFC 4.3, foram identificados os parâmetros IFC que descrevem semanticamente cada elemento construtivo da ponte. Esses parâmetros foram incorporados ao BDSpec para serem fornecidos conforme o tipo de elemento selecionado pelo usuário.

O BDSpec permite ao usuário estabelecer o nível de detalhamento geométrico/gráfico necessário para o elemento e as suas propriedades. Para isso, diversas propriedades do IFC foram incorporadas ao aplicativo, seguindo uma estrutura de seleção composta por Categoria, Conjunto e Propriedade. Em outras palavras, os conjuntos de propriedades do IFC foram agrupados em categorias de acordo com o tipo de informação que representam. Adicionalmente, cada propriedade foi vinculada à URI do *buildingSMART Data Dictionary* (bSDD) que contém a sua descrição.

O BDSpec foi desenvolvido para operar em conjunto com o BDCheck, um aplicativo que tem como foco principal a verificação de propriedades em arquivos .ifc de modelos de pontes. Para essa finalidade, o BDSpec gera um arquivo que serve tanto como arquivo de comunicação quanto como arquivo de verificação, sendo importado para o BDCheck. Desse modo, foi elaborada uma estrutura de arquivo facilmente compreensível para os usuários e, simultaneamente, interpretada pelo BDCheck.

O BDCheck corresponde ao aplicativo apresentando no Capítulo 3. Neste capítulo, visando atender ao escopo da pesquisa, foi integrado ao seu sistema um recurso que permite a entrada automática de dados, de modo a simplificar processo de verificação do arquivo .ifc. A implementação deste recurso é vantajosa para automatizar o processo e diminuir a possibilidade de erros. A entrada de dados, embora ainda seja possível de forma manual, agora ocorre principalmente por meio da importação de um arquivo.

4.3 Desenvolvimento

4.3.1 Level of Development

Na Tabela 4.1, é possível observar as abordagens utilizadas em diferentes países e documentos em relação ao LOD. Sua análise não apenas permite a identificação de conceitos semelhantes ao LOD, mas também viabiliza a obtenção de uma compreensão acerca das perspectivas para o LOD. Vários documentos também podem ser analisados nas tabelas elaboradas por Abualdenien e Borrmann (2022) e Bolpagni (2016), que realizaram uma análise mais detalhada quanto ao nível de aplicação da estrutura LOD.

Tabela 4.1 – LOD em diferentes documentos

Id	Ano	Orig.	Referência	Abordagem
1	2007		bips (2007)	• Information levels (0 – 6)
2	2009		CRC Construction Innovation (2009)	• Detail levels (Level A – E)
3	2012		University of Southern California (2012)	• Level of Detail (LOD)
4	2012		Building and Construction Authority (2012)	• Level of Detail
5	2012		Rillaer <i>et al.</i> (2012)	• Level of Detail (LOD)
6	2012		San Diego Community College District (2012)	• Level of Development (LOD 100/200/300/400/500)
7	2012		AEC (UK) (2012)	• Grade - Level of Detail (G0 – G3)

8	2013		NATSPEC (2013)	• Level of Development (LOD 100/200/300/400/500)
9	2013		Building and Construction Authority (2013)	• Level of Detail
10	2013		Computer integrated construction research program (2013)	• Level of Development (LOD 100/200/300/400/500)
11	2014		Blanks; Eling; Hanks (2014)	• Level of Development (LOD 100/200/300/400/500)
12	2014		FIU BIM Committee (2014)	• Level of Development (LOD 100/200/300/350/400/500)
13	2014		DASNY (2014)	• Level of Development (LOD 100/200/300/400)
14	2016		U.S. General Services Administration (2016)	• Level of Detail • Level of Development (LOD 100/200/300/350/400/500)
15	2016		MT Højgaard (2016)	• Level of Development (LOD 100/200/300/350/400/500)
16	2017		Wang <i>et al.</i> (2017)	• Level of Detail (LOD 0 – 6)
17	2017		NIBS (2017a)	• Level of Development (LOD)
18	2017		Costa <i>et al.</i> (2017)	• Níveis de Desenvolvimento da Informação (LODs)
19	2017		NIBS (2017b)	• Level of Development (LOD)
20	2017		BIM Forum Argentina (2017)	• Nivel de Desarrollo (LOD 100/200/300/350/400/500)
21	2017		CRTI-B (2017)	• Niveau du besoin d'information • Niveau GID: - Géométrie (100/200/300/400/500) - Information (10/20/30/40/50) - Documentation (1/2/3/4/5)
22	2018		Construction Industry Council (2018)	• Level of Definition - Level of Model Detail - Level of Information
23	2018		AIQS; NZIQS (2018)	• Level of Development (LOD)
24	2018		Bo Olsen <i>et al.</i> (2018)	• Level of Development (100/200/300/350/400)
25	2018		Curschellas <i>et al.</i> (2018)	• Level of Development (LOD) • Level of Information Need (LOIN) • Level of Geometry (LOG 100 – 500) • Level of Information (LOI 100 – 500)
26	2018		BIM Forum (2018)	• Level of Development (LOD 100/200/300/350/400)
27	2018		González <i>et al.</i> (2018)	• Level of Definition (LOD): - Level of Geometric detail (LoG 100 – 500) - Level of Information (LoI 100 – 500)
28	2018		Marc <i>et al.</i> (2018)	• Level of Development (LOD 100/200/300/350/400/500)
29	2018		es.BIM (2018)	• Niveles de Detalle Gráfico (G1 – G4) • Niveles de Información No Gráfica (D1 – D4) • Niveles de Información Vinculada (V1 – V4)
30	2018		KNX Swiss (2018)	• Level of Information Need (LOIN): - Level of Geometry (LOG) - Level of Information (LOI)
31	2019		Borrmann <i>et al.</i> (2019a)	• LOD (100/200/300/350/400/500) - LOG - LOI
32	2019		bSFrance; MINND (2019)	• Niveaux de définition: - Niveau de représentation (NdR 0 – 5)

				- Niveau d'information (NdI) - Niveau de documentation (NDoc) - Niveau de complétude (NdC) - Niveau de coordination (NCoo) • Level of information needs (LOIN)
33	2019		CIDB (2019)	• Level of Development (LOD) • Level of Detail (LOd) • Level of Information (LOI)
34	2019		Puertos del Estado (2019)	• LOMD (Level of Model Definition): - LOD (Desarrollo geométrico 100/200/300/ 350/400/500) - LOI (Información) • Niveles de Información vinculada
35	2019		University of California San Diego (2019)	• Level of Development (LOD 100/200/300/350/400/500)
36	2019		BIM Acceleration Committee (2019)	• Level of Development (LOD 100/200/300/350/400/500)
37	2019		Government of the Hong Kong Special Administrative Region (2019)	• Level of Development - Graphic (LOD-G 100 – 400) • Level of Development - Information (LOD-I 100 – 400)
38	2019		Whiteman (2019)	• Level of Development (LOD)
39	2019		Vomhof; Haller (2019)	• Level of Information Need (LOIN) • Level of Development (LOD) • Level of Geometry (LOG) • Level of Information (LOI)
40	2020		Colegio de Ingenieros Técnicos de Obras Públicas (2019)	• Nivel de Desarrollo (LOD 100/200/300/400/500) • Nivel Gráfico (LOG) • Nivel de Información (LOI) • Level of Information Need (LOIN)
41	2020		Department of Municipalities and Transport (2020)	• Level of Development (LOD) • Level of Detail (LOD) • Level of Information (LOI) • Level of Information Need
42	2020		University of Tennessee (2020)	• Level of Development (LOD 100/200/300/350/400/500)
43	2020		Colomar; Cerezo (2020)	• Niveles de desarrollo geométrico (LOD 100/200/300/350/400/500) • Niveles de información (LOI) • Niveles de Información vinculada
44	2020		Euskal Trenbide Sarea (2020)	• Level of Information Need (LOIN): - Información gráfica - Información no gráfica - Información vinculada
45	2021		Planbim (2021)	• Niveles de Información (NDI 1 – 6) • Tipos de Información (TDI)
46	2021		Fernandes; Pires; Rolim (2021)	• Níveis de Definição: LOD 2 – 5 • Nível de Detalhe (ND) • Nível de Informação (NI) • Nível de Informação Necessária
47	2021		Construction Industry Council (2021)	• Level of Information Need (LOIN): - Level of Graphics (LOD-G 100 – 400) - Level of Information (LOD-I) - Level of Documentation (DOC)
48	2021		Georgia Tech (2021)	• Level of Development (LOD 50/100/150/200/250/300/350/400/450/500/550/600)
49	2021		NHS (2021)	• Level of Development (LOD) • Level of Information Requirements (LOI)

50	2021		Statsbygg (2021)	• Level of Geometry (LoG Level 1 – 5) • Modell Modenhets Indeks (MMI)
51	2021		Bộ Xây Dựng (2021)	• Level of Development (LOD 100/200/300/350/400/500)
52	2022		NATSPEC (2022)	• Level of Development (LOD) • Level of Information Need
53	2022		Fløisbonn <i>et al.</i> (2022)	• Modell modenhets indeks (MMI) • Level of Information Need (LOIN)
54	2022		Skripac; Burg; Dellaria (2022)	• Level of Development (LOD 100/200/300/350/400/500)
55	2022		Agentschap Wegen en Verkeer (2022)	• Level of Development (LOD): - Level of Geometry (LOG) - Level of Information (LOI)
56	2022		Väylävirasto (2022)	• Level of Development (LoD 0 – 4)
57	2022		Zarazúa; Salinas (2022)	• Nivel de Desarrollo (NDD 100 – 400) • Nivel de Información Necesaria (NIN)
58	2015 / 2022		NBS (2022)	• Level of Detail (LOD 2 – 5) • Level of Information (LOI) • Level of Information Need (LOIN)
59	2022		Funtfk; Mayer; Mikus (2022)	• Level of Development (LOD) • Level of Information Need (LOIN)
60	2023		Secretaria de Estado de Infraestrutura e Logística (2023)	• Nível de Detalhe (ND 1 – 5) • Nível de Informação (NI 1 – 4) • Nível de Informação Necessária (LOIN)
61	2023		Secretaria de Estado de Infraestrutura e Logística (2023)	• Nível de Detalhe (ND 1 – 5) • Nível de Informação (NI 1 – 4) • Nível de Informação Necessária
62	2023		Ministro de Economía y Finanzas (2023)	• Nivel de Información Necesaria (LOIN): - Nivel de Detalle (LOD 1 – 5) - Nivel de Información (LOI 1 – 5)
63	2023		BIM Fórum Brasil (2023)	• Level of Development (LOD) • Level of Information (LOI) • Level of Information Need
64	2023		University of South Florida (2023)	• Level of Development (LOD 100/200/300/350/400/500)
65	2023		INFRA S.A (2023)	• Level of Development (LOD 100/200/300/400)

Fonte: O autor (2024).

4.3.1.1 Análise dos termos

Na representação gráfica da Figura 4.1, verifica-se os termos utilizados com maior frequência entre os documentos analisados, o que viabiliza a extração de informações relevantes por meio de sua análise.

500 (NATSPEC, 2013). A diferença entre esses dois conceitos é que o *Level of Detail* (LoD) descreve essencialmente a quantidade de detalhes inseridos no elemento do modelo, sem levar em consideração sua confiabilidade. Por sua vez, o *Level of Development* (LOD) descreve o nível em que a geometria do elemento foi pensada, indicando aos usuários do modelo a quantidade de informações confiáveis (BIMForum, 2023).

Dessa maneira, é possível que um elemento possua um nível de detalhe equivalente ao necessário para a fabricação (LoD 400) e, ao mesmo tempo, tenha um baixo nível de desenvolvimento (LOD 200). Isso significa que uma parcela considerável das informações ainda é incerta e, possivelmente, será alterada no decorrer do projeto. Durante o processo de projeto, essa abordagem é utilizada pelos projetistas com o intuito de explorar as opções de projeto, detalhando o mesmo elemento com diversas variações, permitindo que a sua adequação e desempenho sejam analisados (NATSPEC, 2013).

O *Level of Definition* é originário do Reino Unido e foi introduzido na PAS 1192-2, publicada em 2013 (Bolpagni, 2016). Ele é um termo coletivo que abrange o *Level of Model Detail* e o *Level of Model Information*, referentes, respectivamente, à descrição do conteúdo gráfico e não gráfico dos modelos em diferentes estágios de desenvolvimento (BSI, 2013). Essa abordagem da PAS 1192-2, que diferencia as informações gráficas e não gráficas, foi adotada em 2015 no NBS BIM Toolkit, considerando faixas para a especificação do *Level of Detail* e *Level of Information* (LOI) (NBS, 2022). Além desses acrônimos, outro termo comum em especificações é o LOG (*Level of Geometry*), utilizado para descrever o conteúdo geométrico. Geralmente, está relacionado ao LOI, mas não de forma direta, o que permite que evoluam de forma separada.

A observação mais pertinente a ser realizada com base na Figura 4.1 refere-se à significância da palavra *Need*, a qual está relacionada ao termo *Level of Information Need*. Além de estabelecer novos procedimentos para a definição das informações necessárias, esse termo parece estar definindo novos caminhos para o *Level of Development*.

O *Level of Information Need* é um termo relativamente recente, que foi definido pela primeira vez na ISO 19650-1 (UK BIM Framework, 2022). Ele é descrito como uma estrutura para estabelecer a extensão e a granularidade das informações, tendo como um dos principais objetivos impedir o fornecimento excessivo de informações (ISO 19650-1, 2018).

O desenvolvimento desse termo foi motivado em função de problemas associados aos termos *Level of Detail*, *Level of Information* e *Level of Development*. Entre esses problemas, destaca-se a granularidade excessiva do LOD para a maioria das finalidades (NATSPEC, 2022).

O *Level of Information Need* está diretamente relacionado ao propósito de uso das informações, garantindo que a quantidade de informações fornecidas seja estritamente suficiente para atingir os objetivos estabelecidos.

O UK BIM Framework (2022) relata que a introdução dos conceitos do *Level of Information Need* na série ISO 19650 ocorreu em função da verificação prática da necessidade de uma estrutura mais clara para a definição da informação que deve ser fornecida. Conforme apontado, as métricas utilizadas no Reino Unido (níveis de 1 a 7), associadas ao *Level of Definition*, para indicar a representação geométrica e os requisitos de informações alfanuméricas eram muito genéricas e desvinculadas do propósito de uso da informação. Tais aspectos, além de inviabilizar a verificação automatizada dos entregáveis de informação, contribuem para o gerenciamento ineficiente das informações e a entrega em excesso ou insuficiente de dados (UK BIM Framework, 2022).

Ao especificar o *Level of Information Need*, deve-se considerar previamente o propósito de uso da informação, os atores envolvidos, o objeto da entrega e o marco em que as informações devem ser fornecidas (Construction Industry Council, 2021). O *Level of Information Need* é composto por informações geométricas, alfanuméricas e documentação (BIM Fórum Brasil, 2023), abrangendo, assim, os diferentes tipos de dados que podem ser inseridos ou relacionados ao modelo.

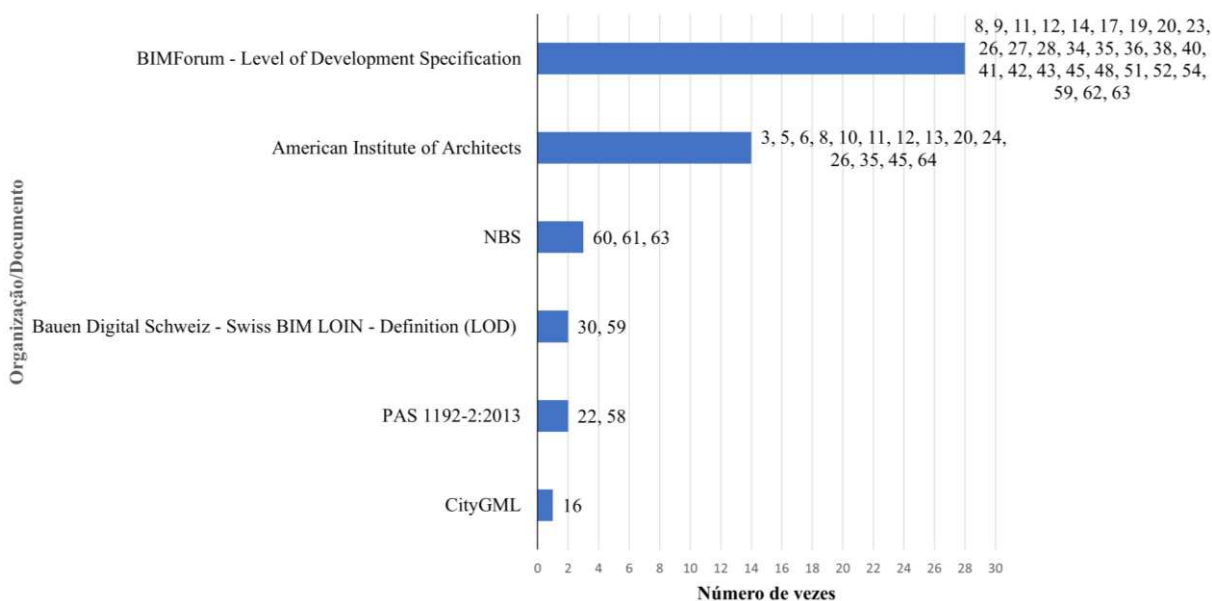
Entre os documentos analisados, o primeiro a abordá-lo foi o de Luxemburgo, que, com base nos conceitos associados ao termo, propôs o *Niveau GID*. Este padrão refere-se à soma de três níveis de granularidade relacionados à Geometria, à Informação e à Documentação. A definição desses componentes fundamenta-se no princípio de obter a granularidade e o nível necessário de informação; por isso, embora esses componentes possam ser complementares, são independentes.

Essa metodologia também é observada em outras especificações, contudo com variações. Por exemplo, nas especificações da Espanha foram estabelecidos os termos *Nivel de Desarrollo Geométrico*, *Nivel de Información* e *Nivel de Información Vinculada* (Colomar; Cerezo, 2020; es.BIM, 2018; Euskal Trenbide Sarea, 2020; Puertos del Estado, 2019). No mesmo sentido, no documento de Hong Kong, são utilizados os componentes *Level of Graphics*, *Level of Information* e *Level of Documentation* (Construction Industry Council, 2021). Da mesma forma, no documento da França, considera-se o *Niveau de représentation*, *Niveau d'information* e *Niveau de documentation* (bSFrance; MINND, 2019).

4.3.1.2 Organizações/documentos utilizados como referência

Pode ser observado no gráfico exposto na Figura 4.2 os documentos/organizações utilizados como referência entre as especificações analisadas. Cada especificação está identificada pelo seu Id da Tabela 4.1.

Figura 4.2 – Organizações/documentos utilizados como referência



Fonte: O autor (2024).

A Especificação LOD do BIMForum é o documento mais citado, com 28 menções, sendo 11 delas provenientes dos Estados Unidos. O *American Institute of Architects* (AIA) também é frequentemente citado, totalizando 14 menções, das quais 9 referem-se a documentos dos Estados Unidos. No total, foram considerados 16 documentos dos Estados Unidos. Cada um deles faz referência ao AIA, à Especificação LOD do BIMForum, ou a ambos em conjunto. Isso evidencia que o conceito de LOD definido por essas organizações está amplamente difundido nos Estados Unidos. Dos 49 documentos restantes, 19 citam a Especificação LOD do BIMForum ou o AIA, fato que destaca a relevância dessas organizações não apenas nos Estados Unidos.

Isso se justifica em função do fato de que a estrutura LOD foi introduzida em 2008 pelo AIA (BIMForum, 2023), sendo estabelecida no *AIA Document E202™-2008 Building Information Modeling Protocol* e descrita em cinco níveis múltiplos de 100 (100-500) (AIA, 2008). Com o objetivo de promover a padronização e o uso consistente do conceito de LOD, o AIA permitiu que o BIMForum utilizasse as suas definições de LOD (BIMForum, 2023).

Assim, o BIMForum iniciou o desenvolvimento da Especificação LOD, que foi publicada pela primeira vez em 2013 e, posteriormente, lançada com periodicidade anual.

A última especificação foi publicada em 28 de dezembro de 2023. Em essência, a Especificação LOD consiste em uma coleção organizada de interpretações das definições de LOD do AIA. Ela descreve requisitos de entrada e informações, e fornece exemplos gráficos que ilustram os diferentes níveis de desenvolvimento para uma ampla variedade de elementos de construção (BIMForum, 2023). As definições mais recentes dos níveis de desenvolvimento podem ser observadas na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 – Definições LOD

LOD	Descrição
100	O Elemento do Modelo pode ser representado graficamente no modelo com um símbolo ou outra representação genérica, mas não atende aos requisitos do LOD 200.
200	O Elemento do Modelo é representado de forma genérica e gráfica no modelo com quantidade, tamanho, forma, localização e orientação aproximados.
300	O Elemento do Modelo, conforme projetado, é representado graficamente no modelo, de modo que sua quantidade, tamanho, forma, localização e orientação possam ser medidos.
350	O Elemento do Modelo, conforme projetado, é representado graficamente no modelo, de modo que sua quantidade, tamanho, forma, localização, orientação e interfaces com Model Elements adjacentes ou dependentes possam ser avaliados.
400	O Elemento do Modelo é representado graficamente no modelo com detalhes suficientes para fabricação, montagem e instalação.
500	O Elemento do Modelo é uma representação gráfica de uma condição existente ou conforme construída, desenvolvida por meio de uma combinação de observação, verificação de campo ou interpolação. O nível de precisão deve ser registrado ou anexado ao Model Element.

Fonte: BIMForum (2023).

A PAS 1192-2 também é um documento relevante no meio. Ela serviu de orientação para a NBS no sentido de diferenciação entre informações gráficas e não gráficas, o que resultou na utilização dos termos *Level of Detail* e *Level of Information*, os quais são amplamente empregados.

O documento *Définition swiss BIM LOIN - (LOD) Compréhension* é citado por outro documento da Suíça (KNX Swiss, 2018) e em um documento da Eslováquia (Funtík; Mayer; Mikus, 2022). A abordagem apresentada nesse documento considera a utilização do *Level of Geometry* (LOG) e *Level of Information* (LOI), associados a níveis de 100 a 500, que devem ser definidos com base no *Level of Information Need* (Curschellas *et al.*, 2018). Com o intuito de facilitar a compreensão dos níveis e estabelecer uma referência prática, o documento contém uma série de exemplos de definições de LOG e LOI para diferentes objetos.

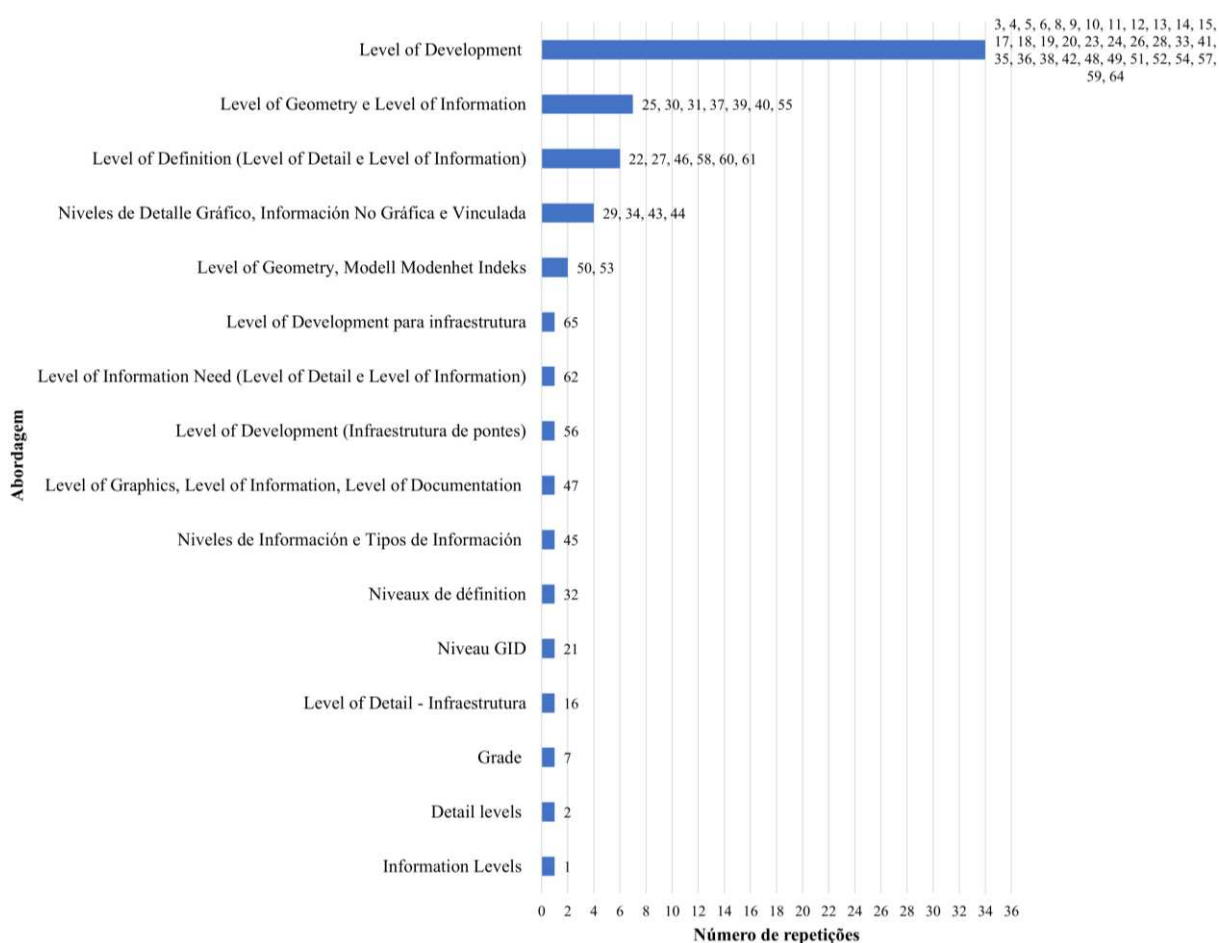
O documento 16 (Wang *et al.*, 2017) da Tabela 4.1, que visa promover a aplicação do BIM em projetos de infraestrutura, considera a utilização do LOD 0 - LOD 4 do padrão

CityGML para as etapas de planejamento e projeto de infraestrutura. Além disso, propõe o desenvolvimento do LOD 5 para o estágio de construção e do LOD 6 para o estágio de operação e manutenção, ambos aplicados ao nível de elemento do modelo.

4.3.1.3 Identificação das abordagens

No gráfico exposto na Figura 4.3, é possível visualizar as abordagens encontradas entre os diferentes documentos analisados.

Figura 4.3 – Abordagens encontradas



Fonte: O autor (2024).

No total, foram identificadas 16 abordagens. A mais utilizada é a do *Level of Development* (considerada em 34 documentos), a qual segue o conceito inicialmente introduzido pelo AIA e difundido pelo BIMForum. Evidentemente, existem algumas variações referentes à abordagem do LOD entre os documentos agrupados nessa categoria, por exemplo, em relação ao seu nível de aplicação, considerando-o por elemento do modelo ou para o modelo

como um todo. É comum encontrar especificações que detalham um LOD mínimo por etapa ou por tipo de modelo. Os trabalhos de Abualdenien & Borrmann (2022) e Bolpagni (2016) analisaram esses aspectos considerando diversos documentos e apontaram as diferenças entre eles.

O documento da NATSPEC (2013) contém pontos importantes que contribuem para o entendimento do LOD, a saber:

- O LOD é utilizado para determinar até que ponto os elementos do modelo foram desenvolvidos, desde a concepção até a sua construção e operação.
- Como o ritmo de desenvolvimento dos elementos do modelo ocorre em taxas diferentes ao longo do processo de projeto, inevitavelmente o modelo conterá elementos com vários LODs. Diante disso, o LOD deve ser aplicado exclusivamente para descrever os elementos do modelo, e não o modelo de forma geral. Essa visão é compartilhada por grande parte das especificações analisadas.
- O LOD é uma ferramenta para o gerenciamento de projetos e deve ser documentado em tabelas, as quais devem especificar o LOD que os elementos do modelo devem apresentar em determinadas etapas e os responsáveis pelo desenvolvimento. Isso auxilia no gerenciamento e coordenação das equipes de projeto, bem como nivela as expectativas dos usuários do modelo, firma e registra acordos. Existem várias tabelas de referência para a especificação do LOD.

Além desses, um importante aspecto trazido pela NATSPEC sobre o LOD é que o LOD é um meio para um fim, de modo que não faz sentido especificá-lo sem uma definição clara da finalidade do modelo ou dos usos pretendidos. Na última Especificação LOD do BIMForum (2023), são apresentados fatores importantes acerca da utilização do LOD, os quais já haviam sido mencionados nas Especificações anteriores e são reforçados a cada publicação:

- Os LODs não são estabelecidos pelas fases do projeto.
- Não existe um modelo LOD ###.

Isso corrobora com a aplicação do LOD aos elementos do modelo. No documento 59 da Tabela 4.1 (Funtík; Mayer; Mikus, 2022), é descrito que a abordagem ideal para especificar o

LOD deve considerar em conjunto as fases do projeto, os modelos disciplinares e objetos BIM específicos, assegurando a determinação dos LODs para cada elemento em cada fase do projeto.

Outras abordagens bastante utilizadas referem-se à utilização do *Level of Geometry/Detail* e *Level of Information*. O primeiro serve para a indicação do conteúdo gráfico e geométrico, enquanto o segundo descreve a necessidade de informações não-geométricas ou alfanuméricas. Esses indicadores devem ser aplicados aos elementos do modelo e, embora possam ser complementares, eles são independentes. Isso significa que um elemento pode ter um baixo nível de detalhe e um elevado nível de informação.

Nos documentos da Espanha, prevalece o uso dos termos *Niveles de Desarrollo Geométrico*, *Niveles de Información* e *Niveles de Información Vinculada*. Na Noruega, um termo interessante utilizado é o *Modell Modenhets Indeks* (MMI), que tem por objetivo retratar o grau de maturidade dos objetos incluídos no modelo por meio da aplicação de códigos numéricos convencionados (Fløisbonn *et al.*, 2022; Statsbygg, 2021).

Nos documentos 65, 56 e 16 da Tabela 4.1, pode ser verificada a aplicação de métricas para a descrição do desenvolvimento de modelos de infraestrutura.

No Guia Nacional BIM do Peru, documento 62, é considerado que o *Level of Information Need* é definido pelo *Level of Detail* e *Level of Information*, de modo que o *Level of Detail* descreve a informação geométrica e o *Level of Information* descreve a informação alfanumérica e a documentação associada. Ambos possuem cinco níveis e podem progredir de forma independente. No Guia, é exemplificada a aplicação do *Level of Detail* para edificações e infraestrutura.

Por sua vez, no documento 47, de Hong Kong, é estabelecido que o *Level of Information Need* abrange o *Level of Graphics*, *Level of Information* e *Level of Documentation*. Ou seja, assim como observado em outras especificações, como as da Espanha, há um componente específico para informar a documentação que deve ser vinculada.

No Chile, uma abordagem diferenciada foi apresentada no documento 45, onde foi estabelecido o conceito de *Tipos de Información* (TDI), que abrange 15 conjuntos de dados ligados aos usos BIM. Esses conjuntos de dados podem passar por diferentes *Niveles de Información* (NDI), variando de 1 a 6, os quais estabelecem o detalhamento e a especificidade das informações, tanto geométricas quanto não-geométricas.

Em conformidade com os conceitos relacionados ao *Level of Information Need*, no documento francês (documento 32) é estabelecido o termo *Niveaux de Définition*, que

compreende o *Niveau de représentation*, *Niveau d'information*, *Niveau de documentation*, *Niveau de complétude* e *Niveau de coordination*.

O *Niveau GID*, de Luxemburgo, é a soma da Geometria, Informação e Documentação. O *Grade*, do Reino Unido, termo em desuso, é similar ao *Level of Detail* e tem a função de descrever a quantidade de detalhes incluídos nos elementos, variando do nível 0 a 3. Os *Detail Levels* (Level A até E) definem a extensão das informações necessárias. Por fim, o *Information Levels*, da Noruega, emprega uma escala de 0 a 6 que serve para especificar o conteúdo dos modelos disciplinares em determinados estágios.

Pelas descrições apresentadas, é possível notar que algumas das abordagens poderiam ser integradas no gráfico, já que possuem conceitos equivalentes. No entanto, optou-se por separá-las com o intuito de dar notoriedade aos diferentes termos que estão sendo utilizados em diferentes países.

4.3.1.4 Definição do LOD

Ao ser aplicado em projetos, o LOD deve ser considerado como uma orientação geral, fornecendo uma escala de desenvolvimento genérica, geralmente variando de 100 a 500. Os conteúdos e requisitos dos níveis de desenvolvimento precisam ser detalhados em um documento acordado para refletir as necessidades específicas do projeto. Inclusive, pode surgir a necessidade de inclusão de níveis intermediários, prática comum e incentivada pelos idealizadores da escala LOD, como evidenciado pelos múltiplos de 100 na escala. Para ser utilizado como referência durante o desenvolvimento do projeto, o LOD precisa ser documentado em tabelas, as quais devem indicar o LOD de cada elemento (organizados segundo algum sistema de classificação), a fase de projeto correspondente e o autor responsável (MEA – *Model Element Author*). O formato sugerido pelo AIA pode ser observado na Figura 4.4.

Figura 4.4 – Tabela de elementos do modelo

§ 3.3 Model Element Table Identify (1) the LOD required for each Model Element at each Project milestone, (2) the Model Element Author (MEA), and (3) references to any applicable notes found in Section 3.4. Insert abbreviations for each MEA identified in the table below, such as "A—Architect," or "C—Contractor."				Schematic Design			Design Development			Construction Documents									Notes (See Sec. 3.4)
Model Elements utilizing Uniformat™				LOD	MEA	Notes	LOD	MEA	Notes	LOD	MEA	Notes	LOD	MEA	Notes	LOD	MEA	Notes	
B SHELL	B10 Superstructure	B1010	Floor Construction	100	A		200	S		300	S								
		B1020	Roof Construction	100	A														
	Framing Elements						200	S		300	S								
	Roof Openings						200	A/M		300	S								

Fonte: AIA (2013).

Conforme o AIA (2013), a tabela tem duas funções principais: 1 – coordenar o desenvolvimento do projeto entre as disciplinas, informando quem precisa fornecer quais informações e em que momento para cumprir os marcos; 2 – definir confiança, impedindo que os usuários do modelo deduzam um maior nível de informação ou precisão do que o autor do elemento pretende. Mesmo que um elemento possua informações a mais do que as correspondentes ao LOD especificado, os usuários do modelo só podem confiar naquilo que foi declarado para aquele nível.

Um ponto importante ao especificar o *Level of Development* refere-se ao uso do modelo. Solicitar elementos com LODs elevados representará um esforço significativo de modelagem, o que influenciará diretamente no custo e no tempo do projeto. Diante disso, o nível de desenvolvimento exigido deve ser apenas o suficiente para refletir as necessidades de uso do modelo. O detalhamento excessivo pode resultar em arquivos grandes e complicados de avaliar. Em alguns casos, é recomendado que alguns itens do modelo nem sejam modelados, mas sim documentados.

Um exemplo que ilustra a associação do LOD aos usos do modelo refere-se ao LOD definido para os elementos no modelo de construção e o LOD dos elementos no modelo para o gerenciamento do ativo. Normalmente, no modelo para construção, é necessário que os elementos possuam um nível de detalhamento maior. Por outro lado, no modelo para gerenciamento, isso não é necessário. Pelo contrário, é recomendável simplificar o modelo para facilitar as atividades do gerenciador, tornando-as mais eficientes. Isso implicará em um esforço adicional da equipe de projeto para a remoção dos detalhes dos elementos.

4.3.1.5 Perspectivas para o LOD

O LOD foi desenvolvido para desempenhar um papel nobre: indicar aos usuários do modelo a confiabilidade das informações e para quais finalidades podem ser utilizadas. Há mais de 10 anos, esse é um dos termos mais importantes na área de gerenciamento de projetos e, no cenário atual, diferentes perspectivas o cercam. Isso é influência da implementação dos conceitos e princípios relacionados ao *Level of Information Need*, que busca estabelecer uma metodologia mais clara para definir a informação que deve ser fornecida.

A partir dos documentos analisados, três perspectivas podem ser vislumbradas para o LOD:

- O LOD deixará de ser utilizado.

- O conceito de LOD passa por uma evolução.
- O LOD terá o seu escopo reduzido.

A primeira perspectiva é bastante drástica, mas foi colocada devido ao fato de que em muitos documentos o LOD não é considerado. Porém, essa não parece ser a perspectiva mais provável, especialmente pela ampla difusão do termo e por sua adoção extensiva nas especificações dos Estados Unidos. Ressalta-se, ainda, a publicação da nova Especificação LOD do BIMForum, que faz parte de um dos conjuntos de publicações mais referenciados globalmente. Conforme exposto no documento *Conceitos básicos e princípios para a contratação BIM do Brasil* (BIM Fórum Brasil, 2023), a definição do LOD de cada elemento ao longo do desenvolvimento do projeto, apesar de bastante trabalhosa, ainda é indicada em determinados casos de projetos complexos e pode ser aplicada de maneira pontual.

Quanto à segunda perspectiva, alguns documentos sugerem que o LOD está evoluindo para o *Level of Information Need*. O documento de Hong Kong (Construction Industry Council, 2021), por exemplo, descreve o *Level of Information Need* como um termo anteriormente conhecido como *Level of Development*. Da mesma forma, no documento *Définition Swiss BIM LOIN - (LOD) Compréhension* (Curschellas *et al.*, 2018), é mencionado que o *Level of Development* parece estar evoluindo para *Level of Information Need*. Por último, no documento *BIM-Projektentwicklungsplan* (Vomhof; Haller, 2019), comenta-se que o *Level of Development* está sendo referido como *Level of Information Need* nas normas europeias para evitar distintas interpretações de LOD devido a outros termos, como *Level of Detail* e *Level of Definition*.

Entretanto, essa perspectiva pode não ser a mais lúcida, pois os termos possuem diferenças fundamentais, tendo em vista que um está associado a uma escala progressiva de níveis de desenvolvimento, enquanto o outro refere-se a conceitos e princípios para especificar com maior clareza as informações necessárias para cumprir uma determinada finalidade.

A última perspectiva parece ser a mais factual e está de acordo com a apresentada no documento da NATSPEC (2022), que considera que o *Level of Information Need* não substitui totalmente o LOD. No entanto, limita a aplicação da estrutura LOD apenas à descrição da resolução geométrica dos objetos do modelo. Nessa abordagem, considera-se que o LOD faz parte de uma estrutura mais ampla do *Level of Information Need*.

Colabora com essa perspectiva a definição de LOD apresentada na Especificação LOD de 2023, quando comparada com a apresentada na Especificação LOD de 2014 (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 – Definições do conceito de LOD

Especificação	Definição
(BIMForum, 2014)	<i>“Level of Development is the degree to which the element’s geometry and attached information has been thought through – the degree to which project team members may rely on the information when using the model.”</i>
(BIMForum, 2023)	<i>“Level of Development is the degree to which the element’s geometry has been thought through – the degree to which project team members may rely on the information when using the model.”</i>

Percebe-se a retirada da parte "informações associadas". Isso sugere, então, um direcionamento do LOD para a descrição da geometria dos elementos e até que ponto pode ser considerado confiável.

Portanto, é possível afirmar que, atualmente, vivencia-se uma mudança de perspectiva em relação a um dos termos mais relevantes dos últimos anos, o qual tende a ser utilizado com um escopo mais reduzido. Evidentemente, cada país, localidade e organização possui as suas práticas e necessidades específicas, e, com isso, mesmo com a introdução de metodologias padronizadas, como é a intenção do *Level of Information Need*, essas podem ser ajustadas para refletir as necessidades das diferentes partes.

4.3.2 Industry Foundation Classes (IFC)

O esquema IFC, desenvolvido e mantido pela *buildingSMART*, é o principal instrumento para a promoção do openBIM (*buildingSMART*, 2023a). Conforme definido na ISO 16739-1 (2018), é o padrão internacional aberto para a troca e compartilhamento de dados de modelos de informação entre diferentes softwares utilizados pelos participantes do setor da construção e gerenciamento de instalações.

Em essência, o IFC é um modelo de dados que codifica de maneira lógica (*buildingSMART*, 2023a):

- a identidade e a semântica;
- as características ou atributos;
- relacionamentos;
- objetos;
- conceitos abstratos;
- processos; e
- pessoas.

O objetivo em desenvolvê-lo foi fornecer um formato aberto e abrangente, com definições amplas e gerais, a partir das quais modelos especializados seriam estabelecidos para dar suporte a troca de dados de atividades específicas (Eastman *et al.*, 2011).

Como o esquema IFC é grande demais, não existe a necessidade de que os fornecedores o implementem em sua totalidade (Van Berlo, [s.d.]; Venugopal *et al.*, 2012). Afinal nenhum software realiza todas as atividades. À vista disso, a implementação do IFC é realizada com base em MVDs (*Model View Definitions*) (Hietanen, 2006). Um MVD documenta um nível específico de implementação do IFC necessário para dar suporte ao intercâmbio de dados referente a um determinado uso ou fluxo de trabalho (buildingSMART, 2023b). Um software pode ser certificado em um ou mais MVDs, desde que satisfaça aos acordos de implementação.

Conforme Khemlani (2004), um importante recurso implementado no IFC refere-se aos conjuntos de propriedades, que tem a função de aumentar a extensão e a flexibilidade do esquema. Segundo Borrmann *et al.* (2019b), as propriedades possuem um importante papel, permitindo que requisitos adicionais sejam incluídos no modelo. Nas especificações analisadas, observou-se que os conjuntos de propriedades são essenciais para permitir o atendimento aos níveis de informação solicitados. Nesse caso, as especificações padronizam a forma como as propriedades devem ser fornecidas.

Desde o seu lançamento, o esquema IFC passou por várias atualizações. Recentemente, a documentação 4.3.2.0 tornou-se a versão oficial final da *buildingSMART* para o IFC 4.3 (buildingSMART, 2023c). Essa versão representa a materialização de anos de trabalho voltados a estudos para ampliar o escopo do IFC para cobrir obras de infraestrutura. Costin *et al.* (2018) abordam os projetos de extensão do IFC para infraestrutura. Até a versão 4, o IFC era focado em edifícios. O IFC 4.3 contém definições para descrever instalações de infraestrutura como pontes, estradas e ferrovias.

4.3.3 Information Delivery Specification (IDS)

A abordagem de IDS é um tema recente e que, tendo em vista a sua finalidade, tende a ganhar expressiva relevância no contexto do BIM. Conforme a buildingSMART (2023d), a IDS pode ser utilizada para especificar o *Level of Information Need* e busca viabilizar a verificação automatizada dos dados do modelo.

A IDS é um padrão em desenvolvimento pela *buildingSMART* para especificar requisitos de informação (Van berlo; Drogemuller; Omrani, [s.d.]). Um arquivo IDS é um

arquivo em formato XML. Existem visualizadores que leem a IDS baseada em XML e a apresentam em um formato legível por humanos. A construção de um arquivo IDS segue uma estrutura lógica e o arquivo deve conter informações como o título, descrição, autor e versão do IFC considerada. Um arquivo IDS pode conter várias especificações de informações, as quais não possuem relações umas com as outras (Van berlo; Drogemuller; Omrani, [s.d.]). Em resumo, a IDS descreve como e quais informações devem ser fornecidas, tendo como principal referência o esquema IFC.

Entre as ferramentas comerciais disponíveis, pode-se citar os softwares da ACCA usBIM.IDSeditor e usBIM.IDS. O primeiro é utilizado para criar a IDS e o segundo para validar. O aplicativo de criação permite a visualização da construção da IDS em um formato legível por humanos e a visualização do arquivo baseado em XML. Esse arquivo deve ser utilizado como base para verificação do modelo BIM no aplicativo usBIM.IDS.

4.3.4 *buildingSMART Data Dictionary (bSDD)*

Uma vez que o IFC contém somente acordos que obtiveram consenso internacional, ele nunca representará um conjunto completo de acordos necessários para a prática diária (Van Berlo *et al.*, 2021). Assim, surge a necessidade de que acordos adicionais, sistemas de classificação e conjuntos de propriedades definidos pelo usuário operem de forma integrada e harmoniosa com o IFC. Conforme Van Berlo *et al.* (2021), para facilitar isso, a *buildingSMART* criou o bSDD.

O bSDD é um serviço online que hospeda diversos tipos de padrões e acordos, incluindo as propriedades e as classes do IFC (*buildingSMART*, [s.d.]). Um dos objetivos do bSDD é estender o esquema IFC, fornecendo terminologia padronizada para diferentes tipos de informações. O conteúdo inserido no bSDD pertence e é mantido pelos proprietários originais (*buildingSMART*, [s.d.]).

Toda classe e propriedade do bSDD possui uma URI exclusiva que pode ser referenciada, inclusive em uma IDS. Isso pode ser relevante para a melhoria da qualidade da comunicação e garantia da qualidade dos dados do modelo.

4.3.5 *Ferramentas para a viabilização da abordagem proposta*

Com base nos conceitos levantados em relação ao LOD e *Level of Information Need*, desenvolveu-se o BDSpec para a definição das informações necessárias em projetos de pontes. Na Figura 4.5, observa-se a sua interface.

Figura 4.5 – Interface do BDSpec

The interface is divided into three main sections:

- Informações Preliminares:** Contains a 'Dados' section with a table for defining data fields (Finalidade, Elemento, Marco de entrega, Requerente, Fornecedor, IFC MVD). Below this is a dropdown for 'Elementos' and a table for selecting 'IfcBuiltElement' and 'Predefined Type'. A 'Gerar' button is located at the top right of this section.
- Requisitos:** A large empty box for defining requirements.
- Especificações:** Contains a 'Nível de Detalhe Geométrico/Gráfico' section with a 'Confirmar' button. The 'Seleção de Propriedades' section includes dropdowns for 'Categoria', 'Conjunto', and 'Nome', along with input fields for 'URI', 'Condição', 'Lista', 'Máx.', and 'Min.'. A 'Definição de Propriedades' table is at the bottom, with columns for 'Nome', 'Conjunto', 'Tipo de propriedade', 'Tipo de dado', 'Condição', and 'URI'.

Fonte: O autor (2024).

Nas Informações Preliminares, o usuário deve definir a finalidade para a qual as informações exigidas são necessárias, identificando para quais elementos são aplicáveis e o momento em que precisam ser fornecidas. Também é essencial especificar os atores envolvidos, ou seja, quem está solicitando e quem deve fornecer as informações. Adicionalmente, é recomendável indicar em qual MVD do IFC o modelo deve ser disponibilizado.

Como mencionado, a cobertura do IFC foi ampliada para abranger obras de infraestrutura, o que significa que agora o esquema inclui entidades que possibilitam a descrição semântica de elementos relacionados a essas construções. Com base nisso, quando o usuário estabelece para qual elemento da ponte as informações são necessárias, os parâmetros IFC desse elemento são automaticamente fornecidos. Isso orienta o modelador sobre como cada componente físico da ponte deve ser definido durante a criação do modelo, o que é essencial

para garantir que, em seguida, os elementos da ponte sejam corretamente interpretados, e assim, permitir a sua verificação adequada.

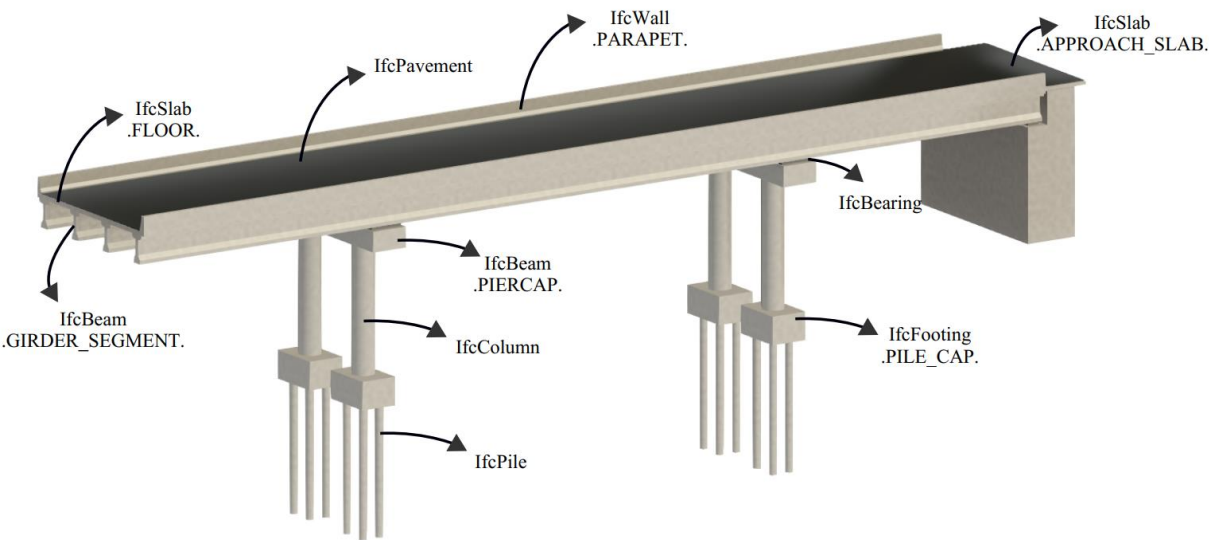
Observa-se na Tabela 4.4 e na Figura 4.6 os parâmetros IFC dos elementos de pontes considerados.

Tabela 4.4 – Parâmetros IFC de elementos de pontes

Elemento	Parâmetros IFC <i>IfcBuiltElement</i>	<i>IfcPredefinedType</i>
Aparelho de apoio	<i>IfcBearing</i>	
Barreira	<i>IfcWall</i>	.PARAPET.
Bloco de coroamento	<i>IfcFooting</i>	.PILE_CAP.
Coluna	<i>IfcColumn</i>	
Estaca	<i>IfcPile</i>	
Laje de transição	<i>IfcSlab</i>	.APPROACH_SLAB.
Longarina	<i>IfcBeam</i>	.GIRDER_SEGMENT.
Pavimento	<i>IfcPavement</i>	
Tabuleiro	<i>IfcSlab</i>	.FLOOR.
Transversina	<i>IfcBeam</i>	.DIAPHRAGM.
Travessa	<i>IfcBeam</i>	.PIERCAP.

Fonte: O autor (2024).

Figura 4.6 – Ponte: Parâmetros IFC dos elementos



Fonte: O autor (2024).

Nas Especificações, o usuário deve indicar o Nível de Detalhe Geométrico/Gráfico e as Propriedades necessárias. O Nível de Detalhe pode ser determinado através de uma descrição textual que explica como o elemento deve ser representado para atingir a finalidade desejada. Essa descrição pode incluir considerações sobre os componentes de Informação Geométrica do

Level of Information Need, tais como Detalhe (do conceitual ao detalhado), Dimensionalidade, Localização (absoluta ou relativa), Aparência e Comportamento Paramétrico (Construction Industry Council, 2021).

Em associação, o usuário também pode se basear em uma métrica de referência, como o LOD do BIM Forum, desde que o conteúdo dos níveis seja descrito de forma detalhada para os elementos.

A parte de Seleção das Propriedades segue uma estrutura em que o usuário seleciona uma categoria de propriedades, um conjunto de propriedades e a propriedade inserida nesse conjunto. Essa estrutura, que pode ser ampliada, foi alimentada com as propriedades e conjuntos de propriedades do IFC, os quais foram categorizados conforme o tipo de dado que representam. As categorias criadas incluem, mas não se limitam a:

- Dados de elementos em concreto.
- Dados de elementos pré-fabricados.
- Dados de inspeção.
- Dados de manutenção.
- Dados de material.
- Dados de reparo.
- Dados para administração.

Todas as propriedades consideradas estão no bSDD, e, com isso, foi vinculada a cada uma delas a URI correspondente, que é preenchida automaticamente quando o usuário seleciona a propriedade. Vale ressaltar, ainda, a possibilidade de impor condições aos valores das propriedades. Essas condições podem estabelecer uma lista de valores admitidos ou um intervalo de valores aceitáveis com a imposição de um valor máximo e mínimo. O botão Instruções na interface deve ser utilizado para verificar o formato em que a condição deve ser aplicada e quais as unidades consideradas.

A seção de Requisitos é preenchida à medida que o usuário estabelece as informações necessárias. Ao concluir o processo, deve-se gerar o arquivo de especificação das informações. Esse arquivo tem dois propósitos principais: servir como arquivo de comunicação, informando aos projetistas as informações que o modelo deve conter, e servir como base para a verificação dos dados do modelo.

O arquivo pode conter várias especificações de informações, cada uma dentro de um bloco BEGIN-END. O bloco é composto por duas partes, uma de informações preliminares e outra de especificações, seguindo a organização da interface. A estrutura definida para o arquivo pode ser observada na Figura 4.7.

Figura 4.7 – Estrutura do arquivo

```
<BEGIN>

<INFORMAÇÕES PRELIMINARES>
  Finalidade: (Descrição da finalidade para a qual as informações são necessárias)
  Elemento: Longarina
    Subtipo de IfcBuiltElement: IfcBeam (Parâmetro fornecido de acordo com o elemento escolhido pelo usuário)
    Predefined Type: .GIRDER_SEGMENT. (Parâmetro fornecido de acordo com o elemento escolhido pelo usuário)
  Marco de entrega: (Definição de quando as informações devem ser fornecidas)
  Requerente: (Identificação da parte que está realizando a solicitação - Nome, E-mail, Telefone)
  Fornecedor: (Identificação da parte que deve fornecer as informações)
  IFC MVD:

<ESPECIFICAÇÃO>

  Nível de Detalhe Geométrico/Gráfico:
  (Descrição do nível de desenvolvimento geométrico e gráfico do elemento)

  Propriedades:

  Conjunto de propriedades: <Nome do conjunto de propriedades>
  Propriedade: <Nome> - Tipo de propriedade: <> - Tipo de dado: <> - Lista (Valores admitidos) - URI: (bSDD)

  Conjunto de propriedades: <Nome do conjunto de propriedades>
  Propriedade: <Nome> - Tipo de propriedade: <> - Tipo de dado: <> - (Max.=xx/Min.=xx) - URI: (bSDD)

<END>
```

Fonte: O autor (2024).

As definições da parte de Especificação são aplicadas ao elemento (ou elementos) definido na parte de Informações Preliminares. Isso implica que o elemento deve apresentar o nível de detalhamento geométrico e gráfico descrito, assim como as propriedades exigidas. Essas propriedades devem ser fornecidas conforme o padrão estabelecido no arquivo de especificação, ou seja, devem estar incluídas nos conjuntos de propriedades especificados e devem possuir o nome informado no arquivo. A URI relativa à propriedade direciona ao local do bSDD que contém a sua descrição/explicação.

Com base na estrutura do arquivo, foi implementado no BDCheck um recurso para interpretá-lo. Na Figura 4.8, é possível visualizar a interface do BDCheck, agora com a inclusão do botão *Import*.

Figura 4.8 – Interface do BDCheck

BDCheck

Preliminary Check

Element Definition

Element = Add Delete Confirm

Property Definition

Category = Pset = Property = Add Delete

Novo recurso

Check Table

Import Validate Generate Report Instructions New Check

Element	Property Set	Property	Condition

Results Preview

Warning

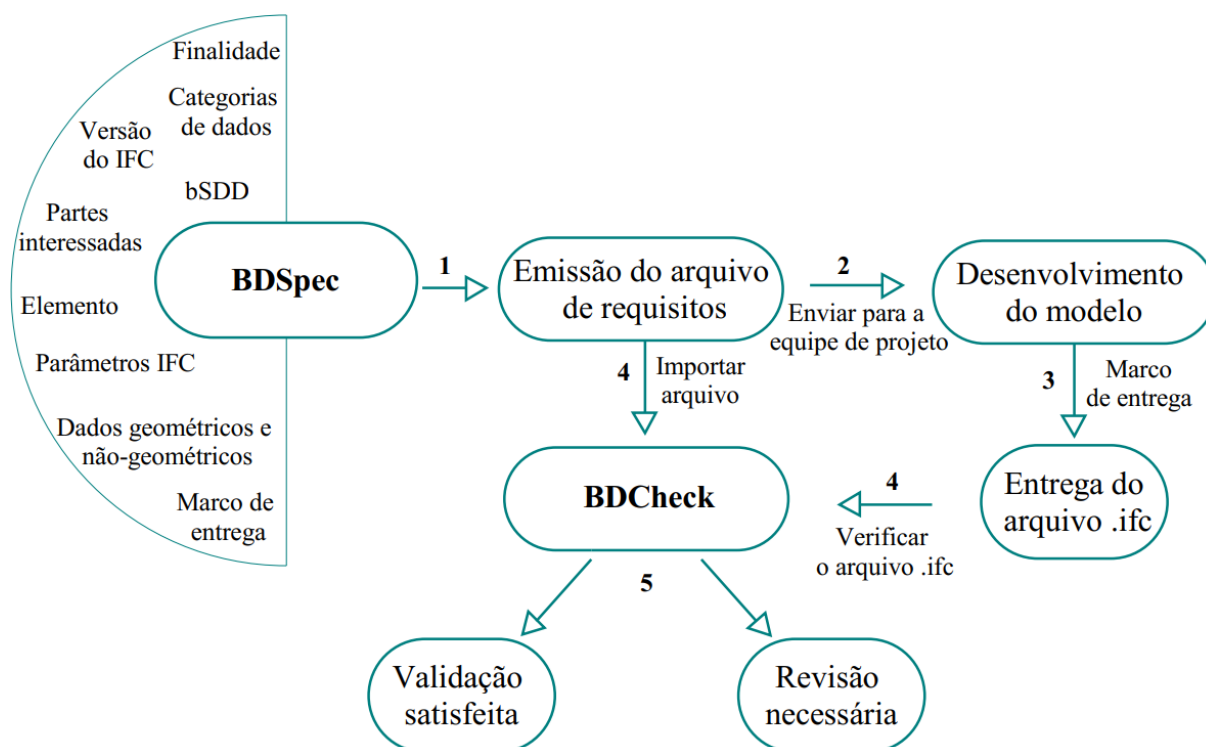
Results

Fonte: O autor (2024).

Ao clicar no botão *Import*, é aberta uma janela que permite ao usuário selecionar o arquivo de especificação a ser utilizado para verificar o arquivo .ifc. Ao fazer isso, todas as necessidades de propriedades, incluindo possíveis imposições de restrições aos valores das propriedades, são preenchidas automaticamente na *Check Table*.

Com a introdução deste recurso, a abordagem integrada proposta torna-se finalmente viável, como demonstrado na Figura 4.9.

Figura 4.9 – Abordagem para a especificação e verificação de informações



Fonte: O autor (2024).

Segundo este fluxo de trabalho, uma vez que as informações necessárias são definidas através do BDSpec, é preciso gerar o arquivo de requisitos e enviá-lo aos responsáveis pelo desenvolvimento do modelo, que o utilizarão como referência. Após a entrega, o arquivo .ifc deve ser verificado conforme as especificações do arquivo de requisitos, importando ambos para o BDCheck. Este aplicativo interpretará todas as exigências de propriedades estabelecidas no arquivo de requisitos e fornecerá um relatório de resultados da análise do arquivo .ifc de acordo com essas exigências.

4.4 Discussão

O *Level of Development* tornou-se um termo altamente relevante na área de planejamento e gerenciamento de projetos. O seu desenvolvimento teve como objetivo proporcionar, às partes envolvidas em um projeto, um método para especificar até que ponto as informações dos elementos inseridos em um modelo BIM devem ser desenvolvidas. Além disso, o LOD desempenha uma função importante ao indicar aos usuários do modelo a confiabilidade das informações e para quais finalidades essas informações podem ser utilizadas.

Embora os conceitos vistos não pareçam complexos, trabalhar com o LOD pode gerar incertezas, especialmente se o conteúdo dos níveis não for declarado com clareza. Isso pode levar a interpretações divergentes sobre quais informações devem ser fornecidas em cada nível de desenvolvimento. Esse foi um dos fatores que levou ao desenvolvimento do *Level of Information Need*, cujo objetivo é fornecer práticas comuns e replicáveis em escala global que permitam uma descrição mais clara sobre quais informações são necessárias para cumprir um determinado propósito.

Diferentemente do LOD, o *Level of Information Need* não se refere a uma escala numérica de desenvolvimento, mas sim a conceitos e princípios que devem ser aplicados para especificar os diferentes tipos de informações que podem ser inseridos ou vinculados ao modelo. O modelo BIM engloba diferentes tipos de dados, e o *Level of Information Need* visa aplicar componentes para especificar cada um deles, traduzindo-os em informações geométricas, alfanuméricas e documentação. Outro fator relevante desse novo conceito refere-se à possibilidade de verificação automatizada das informações entregues, que se associa à utilização da abordagem IDS.

Como observado, várias especificações já estão considerando os conceitos relacionados ao *Level of Information Need*, representando uma mudança no entendimento do LOD. Agora, o LOD faz parte de um contexto mais amplo e a sua finalidade visa essencialmente descrever o conteúdo geométrico. Essa foi a tendência mais contundente e razoável identificada de como o LOD poderá passar a ser utilizado.

Baseando-se nos conceitos relacionados ao estudo do LOD, propõe-se uma abordagem integrada para a especificação e verificação de dados IFC de modelos de pontes, por meio da utilização das ferramentas BDSpec e BDCheck.

O BDSpec inclui elementos que devem ser definidos para possibilitar especificações claras de necessidades de informações. O arquivo de requisitos gerado por ele pode conter diversas especificações de informações. Cada especificação dentro do arquivo deve estar associada a uma finalidade, o que possibilita um entendimento claro do motivo pelo qual as informações devem ser fornecidas. Essa vinculação da especificação da informação ao seu propósito de uso baseia-se nos princípios do *Level of Information Need*, que visam evitar o fornecimento excessivo de informações.

Além disso, as necessidades de informação são especificadas para cada objeto do modelo pelo BDSpec, e os parâmetros IFC desses objetos são fornecidos e incorporados ao arquivo de requisitos. Isso é importante para garantir que, durante a modelagem, os elementos

sejam definidos adequadamente pelo modelador, possibilitando a sua correta interpretação e posterior verificação.

Também pode ser incorporada ao arquivo de requisitos uma URI referente a cada propriedade definida. Essa URI refere-se a um local do bSDD que contém a descrição da propriedade, de modo a favorecer um entendimento comum do seu significado. Essa vinculação da propriedade a URI foi vislumbrada com base em Van Belo *et al* (2021), que sugerem essa associação para facilitar a comunicação e garantir a qualidade dos dados do modelo.

O BDCheck viabiliza o segundo objetivo da abordagem proposta: analisar se os dados requisitados foram fornecidos e se atendem aos valores prescritos. Com a finalidade de proporcionar uma abordagem integrada, o BDCheck é capaz de ler o arquivo gerado pelo BDSpec. Tal funcionalidade elimina a necessidade de entrada manual de dados, o que torna as atividades mais eficientes e menos propensas a erros.

4.5 Considerações finais

O primeiro objetivo deste artigo consistiu em contribuir para o entendimento do *Level of Development* e, principalmente, estabelecer perspectivas para o seu futuro. Para tanto, realizou-se a análise de 65 documentos BIM de diversos países. Baseando-se nas principais referências, foi possível estabelecer diretrizes quanto à finalidade e à forma de aplicação do LOD.

Os documentos mais recentes permitiram estabelecer perspectivas para o futuro do LOD, identificando três possibilidades: o LOD deixará de ser utilizado, o LOD passará por uma evolução ou o LOD terá o seu escopo reduzido. Dentre essas perspectivas, a que parece mais provável é a de que o LOD passa a estar incluído em um escopo mais amplo do *Level of Information Need*, limitando-se à descrição de informações geométricas.

A tendência é que, com base nos conceitos do *Level of Information Need*, sejam utilizadas métricas complementares e independentes para a determinação dos diferentes tipos de informações que devem ser incluídos (informações geométricas e alfanuméricas) ou associados (documentação) aos elementos do modelo, a fim de que uma determinada finalidade seja atingida. A metodologia do *Level of Information Need* foi estabelecida para fornecer uma forma clara de especificação das informações que devem ser fornecidas.

Além disso, a especificação do *Level of Information Need* a nível de classe de objeto viabiliza a verificação automatizada das informações com base no padrão IDS, o qual tende a ganhar expressiva notoriedade nos próximos anos.

Tendo como base os aspectos vistos, apresentou-se uma abordagem para a especificação e verificação de dados em arquivos .ifc de modelos de pontes. A implementação dessa abordagem é viabilizada pela utilização conjunta de dois aplicativos, um destinado à especificação (BDSpec) e outro à verificação de dados (BDCheck).

O BDCheck lê arquivos .ifc de pontes, identificando definições de elementos de construção, definições de materiais, propriedades e relacionamentos. Os parâmetros de entrada do aplicativo podem ser inseridos manualmente ou importados de um arquivo de requisitos. Esse arquivo de requisitos é gerado pelo BDSpec, que foi desenvolvido para ser utilizado em conjunto com o BDCheck, viabilizando a abordagem integrada proposta.

Essa abordagem oferece uma metodologia simples e eficaz, que visa aprimorar a comunicação, auxiliar na gestão das informações e contribuir para a garantia da disponibilidade e integridade dos dados do modelo. Esses são aspectos fundamentais para o gerenciamento eficiente da construção ao longo do seu ciclo de vida.

Entende-se que a utilização do IFC é essencial para preservar as informações de projeto, construção, operação e manutenção, uma vez que não é um formato passível de ficar restrito a uma determinada versão de software. Ademais, é fundamental para a interoperabilidade de dados, o que permite que as partes trabalhem com as ferramentas desejadas, ao mesmo tempo que viabiliza fluxos de trabalho eficientes e colaborativos.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001. Os autores também agradecem o suporte oferecido pelo DNIT e a Universidade Federal de Viçosa (por meio do TED 703/2020) e reconhecem também a colaboração do grupo de pesquisa TechBIM.

Referências

ABUALDENIEN, J.; BORRMANN, A. Levels of detail, development, definition, and information need: a critical literature review. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 27, p. 363–392, 19 abr. 2022.

AEC (UK). **AEC (UK) BIM Protocol - Implementing UK BIM Standards for the Architectural, Engineering and Construction industry**. 2012.

AGCA. **The Contractor's Guide to BIM**. Associated General Contractors of America, 2005.

AGENTSCHAP WEGEN EN VERKEER. **BIM-protocol Infrastructuurprojecten**. Agentschap Wegen en Verkeer - Afdeling PCO - Team BIM, 2022. Disponível em: <<https://wegenenverkeer.be/zakelijk/bim>>.

AIA. **Building Information Modeling Protocol Exhibit**. The American Institute of Architects, 2008.

AIA. **AIA Document G202™–2013, Project Building Information Modeling Protocol Form**. The American Institute of Architects, 2013.

AIQS; NZIQS. **AUSTRALIA AND NEW ZEALAND BIM BEST PRACTICE GUIDELINES**. Australian Institute of Quantity Surveyors Ltd and New Zealand Institute of Quantity Surveyors, 2018. Disponível em: <www.aiqs.com.au>.

CURSCHELLAS, P. *et al.* **Définition swiss BIM LOIN-(LOD) Compréhension. Bâtir digital Suisse** Bâtir digital Suisse / buildingSMART, 2018. Disponível em: <www.bauen-digital.ch>.

VOMHOF, M.; HALLER, R. **BIM-Projektabwicklungsplan Practice**. Bauen digital Schweiz / buildingSMART Switzerland, 2019.

BIM ACCELERATION COMMITTEE. **The New Zealand BIM handbook - Appendix c- levels of development definitions**. 2019.

BIM FORUM. **BIM Project Execution Plan Guide**. 2018.

BIM FORUM ARGENTINA. **Estándares Argentina**. 2017.

BIM FÓRUM BRASIL. **Guias de contratação BIM - Conceitos básicos e requisitos para contratação BIM**. Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, São Paulo, 2023.

BIMFORUM. **Level of Development Specification 2014**. 2014. Disponível em: <www.bimforum.org/lod>.

BIMFORUM. **LEVEL OF DEVELOPMENT (LOD) SPECIFICATION 2023**. 2023. Disponível em: <www.bimforum.org/lod>.

BIPS. **3D Working Method 2006**. National Agency for Enterprise and Construction, 2007.

BLANKS, L.; ELING, Z.; HANKS, K. **State of Minnesota BIM Guideline**. 2014.

BO OLSEN, P. *et al.* **A practical guide to BIM in construction and infrastructure projects**. MT Højgaard, 2018.

BỘ XÂY DỰNG. HƯỚNG DẪN CHI TIẾT ÁP DỤNG MÔ HÌNH THÔNG TIN CÔNG TRÌNH (BIM) ĐỐI VỚI CÔNG TRÌNH DÂN DỤNG VÀ HẠ TẦNG KỸ THUẬT ĐÔ THỊ. 2021.

BOLPAGNI, M. **The Many Faces of ‘LOD’**. Disponível em: <<https://www.bimthinkspace.com/2016/07/the-many-faces-of-lod.html>>. Acesso em: 25 fev. 2023.

BORRMANN, A. *et al.* **Handreichung BIMFachmodelle und Ausarbeitungsgrad.** BerlinBundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, 2019a.

BORRMANN, A. *et al.* **The IFC-Bridge project – Extending the IFC standard to enable high-quality exchange of bridge information models.** European Conference on Computing in Construction. **Anais...**10 jul. 2019b.

BSFRANCE; MINND. **Guide - Comment rédiger une convention BIM?** buildingSMART France-Mediaconstruct, 2019. Disponível em: <www.buildingsmartfrance-mediaconstruct/telecharger-memos-pratiques-bim-pdf>.

BSI. **PAS 1192-2:2013: Specification for information management for the capital/delivery phase of construction projects using building information modelling.** BSI Standards Limited, 2013.

BUILDING AND CONSTRUCTION AUTHORITY. **Singapore BIM Guide.** 2012. Disponível em: <https://www.corenet.gov.sg/integrated_submission/bim/BIM_Guide.htm>.

BUILDING AND CONSTRUCTION AUTHORITY. **Singapore BIM Guide Version 2.** 2013. Disponível em: <www.bca.gov.sg>.

BUILDINGSMART. **Industry Foundation Classes (IFC).** Disponível em: <<https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/>>. Acesso em: 29 dez. 2023a.

BUILDINGSMART. **Model View Definitions (MVD).** Disponível em: <<https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/mvd/>>. Acesso em: 29 dez. 2023b.

BUILDINGSMART. **IFC Specifications Database.** Disponível em: <<https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/ifc-schema-specifications/>>. Acesso em: 7 out. 2023c.

BUILDINGSMART. **Information Delivery Specification IDS.** Disponível em: <<https://technical.buildingsmart.org/projects/information-delivery-specification-ids/#>>. Acesso em: 29 dez. 2023d.

BUILDINGSMART. **buildingSMART Data Dictionary.** Disponível em: <<https://www.buildingsmart.org/users/services/buildingsmart-data-dictionary/>>. Acesso em: 11 out. 2023.

CIDB. **BIM Guide 5: BIM Project Guide.** CONSTRUCTION INDUSTRY DEVELOPMENT BOARD (CIDB) MALAYSIA, 2019.

COLEGIO DE INGENIEROS TÉCNICOS DE OBRAS PÚBLICAS. **Guía de apoyo a contrataciones con requisitos BIM**. Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2019.

COMPUTER INTEGRATED CONSTRUCTION RESEARCH PROGRAM. **BIM Planning Guide for Facility Owners Version 2.0**. 2013. Disponível em: <<http://bim.psu.edu>>.

CONSTRUCTION INDUSTRY COUNCIL. **BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM) PROTOCOL SECOND EDITION**. London, 2018. Disponível em: <www.ocean-design.com>.

CONSTRUCTION INDUSTRY COUNCIL. **CIC BIM Standards General - Version 2.1**. 2021.

COSTA, A. A. *et al.* **GUIA DE CONTRATAÇÃO BIM**. Instituto Superior Técnico, 2017.

COSTIN, A. *et al.* Building Information Modeling (BIM) for transportation infrastructure – Literature review, applications, challenges, and recommendations. **Automation in Construction**, v. 94, p. 257–281, 1 out. 2018.

CRC CONSTRUCTION INNOVATION. **National Guidelines for Digital Modelling**. Icon.Net Pty Ltd, 2009.

CRTI-B. **GUIDE D'APPLICATION BIM LUXEMBOURG**. 2017.

DASNY. **BIM Standards Manual**. 2014.

DEPARTMENT OF MUNICIPALITIES AND TRANSPORT. **BIM Documentation Guidelines for Infrastructure**. 2020.

EASTMAN, C. *et al.* **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. 2º ed. John Wiley & Sons, 2011.

ES.BIM. **Guía transversal para la elaboración del Plan de Ejecución BIM**. 2018. Disponível em: <www.esbim.es>.

EUSKAL TRENBIDE SAREA. **Manual BIM**. 2020.

FERNANDES, M. M.; PIRES, L. C. M.; ROLIM, A. L. **MANUAL DE PROJETOS AEROPORTUÁRIOS**. Brasília Secretaria Nacional de Aviação Civil, 2021.

COLOMAR, M. R.; CEREZO, J. A. G. **Manual BIM de FGV**. Generalitat Valenciana, 2020.

FIU BIM COMMITTEE. **Building Information Modeling (BIM) Standard & Guide**. Florida International University, 2014.

FLØISBONN, H. W. *et al.* **MMI-veilederen 2.0 MMI = Modell Modenhets Indeks**. 2022.

FUNTÍK, T.; MAYER, P.; MIKUS, V. **Exchange information requirements požiadavky na výmenu informácií**. 2022. Disponível em: <www.bimas.sk>.

GEORGIA TECH. **Georgia Tech BIM Requirements & Guidelines for Architects, Engineers and Contractors**. 2021. Disponível em: <<https://facilities.gatech.edu/standards-forms>>.

GONZÁLEZ, D. *et al.* **BIM Manual - Detailed BIM Strategy Guidelines**. RB Rail AS, 2018.

GOVERNMENT OF THE HONG KONG SPECIAL ADMINISTRATIVE REGION. **BIM MODELLING MANUAL**. 2019.

HIETANEN, J. **IFC Model View Definition Format**. International Alliance for Interoperability, , 2006. Disponível em: <<https://technical.buildingsmart.org/standards/information-delivery-manual/>>. Acesso em: 8 nov. 2023.

INFRA S.A. **Manual BIM de Projetos Ferroviários da INFRA S.A.** Brasília, INFRA S.A., 2023. Disponível em: <<https://www.infrasa.gov.br>>.

ISO 16739-1:2018. **Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries — Part 1: Data schema**. 2018.

ISO 19650-1:2018. **Organization and digitization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) — Information management using building information modelling — Part 1: Concepts and principles**. 2018.

KHEMLANI, L. **The IFC Building Model: A Look Under the Hood**. Disponível em: <<https://www.aecbytes.com/feature/2004/IFC.html>>. Acesso em: 28 fev. 2023.

KNX SWISS. **Guide BIM KNX Swiss**. KNX Swiss, 2018. Disponível em: <www.knx.ch/bim>.

MARC, K. *et al.* **PRIROČNIK ZA PRIPRAVO PROJEKTNE NALOGE ZA IMPLEMENTACIJO BIM-PRISTOPA ZA GRADNJE**. Inženirska zbornica Slovenije, 2018. Disponível em: <www.izs.si>.

MINISTRO DE ECONOMÍA Y FINANZAS. **Guía Nacional BIM - Gestión de la información para inversiones desarrolladas con BIM**. Ministro de Economía y Finanzas, 2023.

MT HØJGAARD. **CAD-BIM Manual-General Part**. 2016.

NIBS. **National BIM Guide for Owners**. Washington National Institute of Building Sciences, 2017a. Disponível em: <www.nibs.org>.

NIBS. **VA BIM STANDARD BIM MANUAL V2.2**. U.S. Department of Veterans Affairs, 2017b.

NATSPEC. **BIM and LOD**. Construction Information Systems Limited, 2013. Disponível em: <www.natspec.com.au>.

NATSPEC. **NATSPEC National BIM Guide**. Construction Information Systems Limited, 2022.

NBS. **Level of detail LOD and digital plans of work**. Disponível em: <<https://www.thenbs.com/knowledge/level-of-detail-lod-and-digital-plans-of-work>>. Acesso em: 27 dez. 2023.

NHS. **BIM DELIVERY GUIDANCE**. National Services Scotland, 2021.

NIBS. **National Building Information Modeling Standard**. National Institute of Building Sciences, 2007.

PENTTILÄ, H. Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression. **ITcon Vol. 11, Special issue The Effects of CAD on Building Form and Design Quality**, pg. 395–408, <http://www.itcon.org/2006/29>, v. 11, n. 29, p. 395–408, 12 jun. 2006.

ZARAZÚA, B. A. C.; SALINAS, S. L. G. **Guía para licitaciones públicas BIM en México**. Plan BIM México, 2022.

PLANBIM. **Estandar BIM Para Proyectos Publicos**. Santiago, 2021. Disponível em: <<http://creativecommons.org>>.

PUERTOS DEL ESTADO. **Guía BIM del sistema portuario de titularidad estatal**. 2019.

RILLAER, D. VAN *et al.* **Rgd BIM Standard**. Rijksgebouwendienst, 2012. Disponível em: <www.rijksgebouwendienst.nl>.

SAN DIEGO COMMUNITY COLLEGE DISTRICT. **BIM Standards for Architects, Engineers & Contractors**. Lulu, 2012.

SECRETARIA DE ESTADO DE INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA. **Caderno de especificações técnicas para contratação de projetos em BIM - Edificações**. Curitiba, Secretaria de Estado de Infraestrutura e Logística, 2023.

SECRETARIA DE INFRAESTRUTURA E LOGÍSTICA. **Caderno de especificações técnicas para contratação de projetos em BIM - Infraestrutura rodoviária**. Curitiba, Secretaria de Infraestrutura e Logística, 2023.

SKRIPAC, B.; BURG, A.; DELLARIA, R. **Building Information Modeling (BIM) Project Delivery Standards**. The Ohio State University, 2022.

STATSBYGG. **SIMBA-STATSBYGGS BIM-KRAV 2.0**. 2021. Disponível em: <www.statsbygg.no/bim>.

SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, v. 18, n. 3, p. 357–375, 1 maio 2009.

UK BIM FRAMEWORK. **ISO 19650 Guidance D: Developing information requirements**. 2022.

UNIVERSITY OF CALIFORNIA SAN DIEGO. **UCSD BIM GUIDELINES**. 2019.

UNIVERSITY OF SOUTH FLORIDA. **BIM Guidelines and Standards**. FloridaUniversity of South Florida, 2023.

UNIVERSITY OF SOUTHERN CALIFORNIA. **Building Information Modeling (BIM) Guidelines**. 2012.

UNIVERSITY OF TENNESSEE. **Building Information Model Project Execution Plan and Standards Guide**. 2020. Disponível em: <<https://www.tn.gov/osa.html>>.

U.S. GENERAL SERVICES ADMINISTRATION. **GSA BIM Guide 07 - Building Elements**. Washington, 2016. Disponível em: <<http://www.gsa.gov/bim>>.

VAN BERLO, L. *et al.* Future of the Industry Foundation Classes: towards IFC 5. 2021.

VAN BERLO, L. **The curious case of the MVD**. Disponível em: <<https://www.buildingsmart.org/the-curious-case-of-the-mvd/>>. Acesso em: 29 set. 2023.

VAN BERLO, L.; DROGEMULLER, R.; OMRANI, S. **What is Information Delivery Specification (IDS)**. Disponível em: <<https://www.buildingsmart.org/what-is-information-delivery-specification-ids/>>. Acesso em: 13 out. 2023.

VÄYLÄVIRASTO. **Siltojen inframalliohje**. 2022.

VENUGOPAL, M. *et al.* Semantics of model views for information exchanges using the industry foundation class schema. **Advanced Engineering Informatics**, v. 26, n. 2, p. 411–428, 1 abr. 2012.

WANG, X. *et al.* **National BIM Guidelines and Case Studies for Infrastructure**. Australian Sustainable Built Environment National Research Centre, 2017.

WHITEMAN, Z. **BIM Standard for Construction**. The Port Authority of New York and New Jersey, 2019.

CAPÍTULO 5

Considerações finais

Resumo

Este capítulo contém uma descrição da análise realizada em relação ao LOD e uma visão geral da abordagem desenvolvida, destacando como ela pode ser implementada para melhorar a comunicação e garantir a qualidade dos dados. Também são apresentadas propostas para trabalhos futuros, como a extensão da capacidade do aplicativo de verificação.

5.1 Considerações finais

A elaboração de mecanismos com o propósito de auxiliar no processo de implementação do BIM é fundamental para ampliar a aceitação e adoção dessa metodologia, bem como para transmitir aos usuários finais maior segurança e confiança na aplicação dos processos.

Nesse contexto, esta pesquisa teve como principal objetivo desenvolver uma abordagem para auxiliar na especificação e verificação de informações de modelos IFC de pontes. O propósito da abordagem é aprimorar a qualidade da comunicação entre as diversas partes envolvidas no empreendimento e assegurar a disponibilidade e integridade dos dados fornecidos. A abordagem fundamenta-se na utilização conjunta de dois aplicativos, ambos desenvolvidos em Delphi. Um aplicativo é utilizado para especificar as informações necessárias (BDSpec), enquanto o outro é destinado à verificação das informações após a entrega (BDCheck).

O desenvolvimento do BDSpec envolveu a análise de diferentes padrões normalmente empregados no auxílio ao gerenciamento de informações de projeto, incluindo o LOD. Realizou-se uma extensa análise do LOD com base em diversos documentos BIM de vários países, a fim de identificar elementos importantes para a sua aplicação e compreender as perspectivas futuras para a sua utilização.

Observou-se que o LOD tende a ser integrado em uma estrutura mais abrangente do *Level of Information Need*, na qual a sua aplicação está restrita à descrição de informações geométricas. A tendência é o desenvolvimento e a utilização de diferentes métricas, complementares, porém independentes, para a especificação dos diversos tipos de informações que podem ser inseridos ou associados ao modelo.

Essa abordagem é fundamentada no *Level of Information Need* e visa permitir a especificação apenas das informações necessárias para atender a um propósito específico.

Com base nessa análise, foram identificados elementos importantes para estabelecer trocas de informações eficientes. Esses elementos incluem:

- Especificação das partes interessadas: É fundamental esclarecer de maneira precisa os papéis e as responsabilidades no processo de troca de informações, determinando quem está solicitando e quem deve fornecer as informações.
- Especificação da finalidade de uso da informação: Cada especificação de informação deve estar diretamente ligada a uma finalidade específica de uso, de modo a

proporcionar um entendimento claro do motivo pelo qual as informações são necessárias.

- Especificação de como o elemento deve ser definido: A fase de desenvolvimento do modelo tem uma influência direta na verificação. É imprescindível que o modelador especifique corretamente os parâmetros IFC dos elementos para que eles sejam interpretados corretamente e possam ser verificados. O fornecimento de tais informações ao modelador visa assegurar que ele defina os elementos de maneira apropriada, o que contribui para a precisão e confiabilidade do modelo.
- Determinação do momento em que as informações são necessárias: Essa determinação visa garantir a continuidade das atividades, evitando-se, assim, a perda de tempo na espera por informações.
- Referência a uma base dados (bSDD): Utilizar uma base de dados, como o bSDD, pode facilitar a comunicação e o entendimento das informações, uma vez que fornece um local com descrição padronizada do significado das informações e promove consistência na interpretação.

Esses elementos foram integrados à interface do BDSpec, que também inclui diversas propriedades do IFC disponibilizadas para seleção. Essas propriedades foram organizadas em categorias conforme o tipo de dado que representam. Essa estrutura é relevante para auxiliar na gestão das informações, permitindo a ampliação com propriedades importantes para os usuários. Isso facilita a localização e a especificação eficiente dos dados necessários.

O aplicativo BDCheck foi desenvolvido considerando a necessidade de estabelecer uma ferramenta que permita a análise de dados para os quais muitas das ferramentas existentes não oferecem suporte. Essencialmente, o aplicativo possibilita a verificação das informações de classificação dos objetos, informações de materiais e propriedades em geral.

Com o objetivo de proporcionar uma abordagem integrada, o BDCheck é capaz de ler o arquivo gerado pelo BDSpec. Essa funcionalidade elimina a necessidade de entrada manual de dados, tornando as atividades mais eficientes e menos propensas a erros.

As ferramentas desenvolvidas atendem ao que foi estabelecido pela abordagem. Elas possibilitam ao usuário especificar como as informações devem ser fornecidas, incluindo a possibilidade de impor restrições aos valores das propriedades, como definir uma lista de valores admitidos ou um limite de valores aceitáveis. Além disso, permitem validar o que foi especificado, fornecendo informações como a porcentagem de conformidade do modelo.

A inserção dessa abordagem no fluxo de trabalho de uma organização pode auxiliar na melhoria da comunicação e na garantia da qualidade do modelo. Os recursos dos aplicativos podem ser ampliados para atender às necessidades específicas da organização, como a inclusão de novas categorias de dados, a expansão das categorias existentes e o aprimoramento da capacidade do BDCheck para verificar diferentes tipos de dados.

Direcionada a pontes, a abordagem visa promover padrões importantes para o openBIM, no caso, o IFC e o bSDD. A incorporação desses protocolos favorece o trabalho colaborativo e a interoperabilidade, requisitos fundamentais para a transição dos processos tradicionais da indústria em direção a novos padrões de qualidade.

5.2 Propostas para trabalhos futuros

O BDCheck (aplicativo de verificação) analisa as propriedades que são definidas por valores únicos, sejam eles numéricos ou descritivos. Esse tipo de propriedade é especificado no arquivo .ifc por meio de instâncias da entidade *IfcPropertySingleValue*. A escolha desse tipo de propriedade foi justificada por abranger um amplo conjunto de dados, sendo a maioria das propriedades do IFC do tipo *IfcPropertySingleValue*. Em futuras extensões, pretende-se ampliar a capacidade do aplicativo, permitindo que ele verifique outros tipos de propriedades definidas por diferentes entidades do IFC.

Em trabalhos futuros, também há interesse na verificação das informações geométricas. Pretende-se investigar como esse tipo de verificação é realizada e quais tipos de mecanismos são utilizados. Além disso, existe o interesse em explorar as abordagens utilizadas para validar modelos IFC em relação ao atendimento de requisitos de códigos de construção. A abordagem apresentada neste trabalho visa garantir a suficiência das informações, um aspecto fundamental para assegurar a qualidade do modelo. Validar o modelo em relação a requisitos específicos envolve um desafio mais complexo, o que requer o desenvolvimento de regras de verificação. Pesquisas nessa área estão ganhando cada vez mais importância, considerando a necessidade de garantir modelos cada vez mais precisos e confiáveis.