

Proposição De Uma Metodologia Para Definição E Validação Do Nível De Informação Em Modelos BIM De Pontes

Lucas Andrade Nunes¹, Guilherme Palla Teixeira², Matheus Sant'Anna Andrade³, Ana Carolina Pereira Martins⁴, Fernando Gussão Bellon⁵, Diego Dias Veloso⁶, Kléos Magalhães Lenz César Júnior⁷, José Carlos Lopes Ribeiro⁸, Diôgo Silva de Oliveira⁹, José Maria Franco de Carvalho¹⁰

¹ Universidade Federal de Viçosa / Departamento de Engenharia Civil / lucas.a.nunes@ufv.br
^{2,3,4,5,6,7,8,9,10} Universidade Federal de Viçosa / Departamento de Engenharia Civil / guilherme.palla@ufv.br, matheus.andrade@ufv.br, ana.martins5@ufv.br, fernando.bellon@ufv.br, diego.dias@ufv.br, kleos@ufv.br, jcarlos.ribeiro@ufv.br, diogooliveira@ufv.br, josemaria.carvalho@ufv.br

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. Neste 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. Dado às incertezas associadas ao termo, este artigo tem como objetivo propor uma metodologia preliminar para a definição e validação 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 uma breve revisão acerca do LOD, do uso de regras para verificação de modelos e da utilização do IFC (*Industry Foundation Classes*) para pontes. 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 constam nas entidades correspondentes. Neste trabalho, é proposto o algoritmo de varredura das informações, dando enfoque especial às etapas de definição das informações necessárias e mapeamento das entidades 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.

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) o descreve 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, prejudicando o seu valor.

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 validação dos dados modelo a partir de um algoritmo de varredura, baseando-se na análise do arquivo IFC, que pode ser exportado do software de modelagem.

Neste artigo, será dado foco em duas etapas da metodologia, quais sejam: 1) definição das informações e 2) mapeamento das informações com base no IFC. Para tanto, será 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. Metodologia

O presente trabalho tem como principal objetivo apresentar uma proposta para definição e validação do nível de informação de modelos BIM de pontes. 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 validação.

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 simples. 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 proposta IFC4.3.1.0, 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 compõe 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 abri-lo.

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.

3. Desenvolvimento

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 seu 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, este 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, este 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 1.

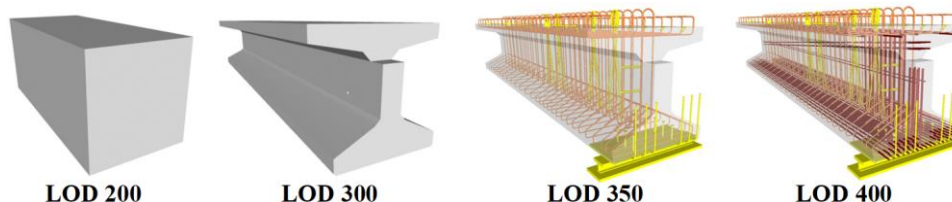


Figura 1 – Longarina de concreto pré-moldada – LOD.

Fonte: Adaptado de BIMForum (2021).

3.1.1. Inconsistências entre as diferentes especificações de LOD

Os estudos realizados por Bolpagni e Ciribini (2016) e Abualdenien e Borrmann (2022) apontam inconsistências, desvios e entendimentos errôneos 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. Destes 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 com diversos 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). Este caso é similar a 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.

Em virtude das inconsistências geradas pelas diferentes especificações, cada profissional possui uma interpretação própria do que significa um determinado LOD e quais informações precisam estar presentes no modelo (VAN BERLO; BOMHOF, 2014). Tais inconsistências, prejudicam a comunicação e, conseqüentemente, 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.

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 forma padrão para representar os dados do modelo. É bom, 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).

3.3. IFC - *Industry Foundation Classes*

Um dos pilares da metodologia BIM se refere à interoperabilidade, que consiste na capacidade de dois ou mais aplicativos trocarem informações e utilizá-las (EASTMAN, et al. 2011). O formato de dados IFC é visto como um meio proeminente para alcançar a interoperabilidade BIM (SANTOS, 2009). Os softwares compatíveis com o IFC são certificados pela bSI.

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 seu nome para *International Alliance for Interoperability* e, anos depois, em 2005, passou a se chamar *buildingSMART International* (SANTOS, 2009).

Atualmente, a versão oficial do IFC é a 4.0.2.1 (BUILDINGSMART, 2023), mas a sua primeira versão, versão 1.0, foi lançada no ano de 1997 (KHEMLANI, 2004). 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). Atualmente, se encontra em processo de certificação ISO a proposta IFC4.3.1.0, que contempla o padrão oficial de pontes e de outras obras de infraestrutura (BUILDINGSMART, 2023).

3.4. Metodologia para definição e validação do nível de informação em modelos BIM

Apresenta-se neste tópico os princípios da metodologia preliminar para definição e validação 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 o fluxograma da metodologia, considerando o processo de modelagem de uma construção em uma determinada etapa do projeto.

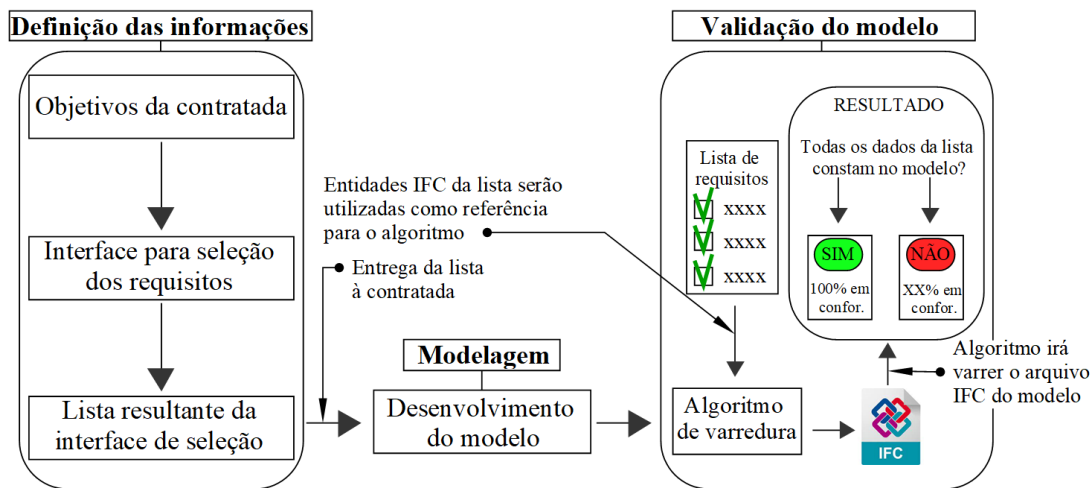


Figura 2 – Fluxograma da metodologia.

Observa-se que o fluxograma possui três etapas principais, quais sejam: definição das informações, modelagem e validação 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, o 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 às suas entidades 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 validação.
- **Validação do modelo:** para a validação do modelo, utiliza-se o algoritmo de varredura. Ao varrer o arquivo IFC do modelo, o algoritmo identificará se as informações requisitadas constam nas entidades IFC correspondentes. Isso será possível, uma vez que as entidades 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%.

Destaca-se que a localização das informações no arquivo IFC do modelo a partir do algoritmo é possível, pois o esquema de dados IFC consiste em um padrão para a representação dos dados dos

elementos de construção. Ou seja, cada informação dos componentes do modelo é representada em uma entidade própria desse formato de arquivo. Assim, deve-se programar o algoritmo para buscar as informações em suas entidades correspondentes. Com esse intuito, faz-se necessário o mapeamento das informações com base na documentação do IFC.

3.5. Metodologia preliminar proposta aplicada à análise estrutural de pontes

Faz parte do escopo desse trabalho demonstrar o processo definição e mapeamento das informações com base no IFC para análise estrutural de pontes. As informações mapeadas devem estar dispostas na interface que foi apresentada anteriormente. O desenvolvimento da interface é objetivo final da metodologia e será efetuado na linguagem de programação em Delphi. De todo modo, neste artigo, será demonstrado como as informações serão organizadas na interface. Assim, expõe-se na Figura 3 como as propriedades do concreto necessárias para análise estrutural de uma ponte são dispostas.

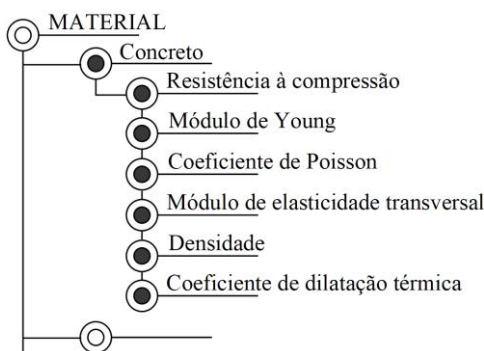


Figura 3 – Disposição das informações na interface.

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 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.

Como resultado da interface, deve ser gerada a lista de requisitos, que, conforme já mencionado, apresentará as informações requisitadas associadas às entidades IFC correlatas. Para isso ser possível, o mapeamento com base no esquema IFC já deve ter sido realizado. Observa-se na Figura 4 a representação da lista e o mapeamento das informações selecionadas a partir de consulta à documentação do IFC.

| Lista de requisitos | Mapeamento das propriedades do concreto realizado com base na proposta IFC4.3.1.0 | | |
|--|---|------------------------|---------------------------------------|
| | Concreto | Name | Property Type |
| <input checked="" type="checkbox"/> Resistência à compressão | CompressiveStrength | IfcPropertySingleValue | IfcPressureMeasure |
| <input checked="" type="checkbox"/> Módulo de Young | YoungModulus | IfcPropertySingleValue | IfcModulusOfElasticityMeasure |
| <input checked="" type="checkbox"/> Coeficiente de Poisson | PoissonRatio | IfcPropertySingleValue | IfcPositiveRatioMeasure |
| <input checked="" type="checkbox"/> Módulo de elasticidade transversal | ShearModulus | IfcPropertySingleValue | IfcModulusOfElasticityMeasure |
| <input checked="" type="checkbox"/> Densidade | MassDensity | IfcPropertySingleValue | IfcMassDensityMeasure |
| <input checked="" type="checkbox"/> Coef. de dilatação térmica | ThermalExpansionCoefficient | IfcPropertySingleValue | IfcThermalExpansionCoefficientMeasure |

Figura 4 – Lista de requisitos e mapeamento das informações com base no IFC4.3.1.0.

Agora, faz-se necessário entender como as propriedades mapeadas do concreto são representados no arquivo IFC. Desse modo, realizou-se o estudo do arquivo IFC desenvolvido manualmente. Observa-se na Figura 5 uma parte do arquivo na qual as propriedades são listadas e associadas ao material (concreto) que, por sua vez, é atribuído aos elementos do modelo (longarinas da ponte).

```

#1100= IFCPROPERTYSET('hiu75g69j7d3bH7UI6ugBm',#20,'Pset_MaterialMechanical',$(#1102,#1103,#1104,#1105));
#1101= IFCMATERIAL('Concrete',,$,$);
#1102= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('YoungModulus',$,IFCMODULUSOFELASTICITYMEASURE(26071),#57);
#1103= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('PoissonRatio',$,IFCRATIOMEASURE(0.2),$);
#1104= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('ShearModulus',$,IFCSHEARMODULUSMEASURE(10863),#56);
#1105= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('ThermalExpansionCoefficient',$,IFCTHERMALEXPANSIONCOEFFICIENTMEASURE(0.00001),#59);
#1106= IFCPROPERTYSET('iFtGvDerfXsSsDt56H4dF0',#20,'Pset_MaterialCommon',$(#1107));
#1107= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('MassDensity',$,IFCMASSDENSITYMEASURE(2500),#49);
#1108= IFCPROPERTYSET('8ujghFrTgJkUtGtGfDeCxH',#20,'Pset_MaterialConcrete',$(#1109));
#1109= IFCPROPERTYSINGLEVALUE('CompressiveStrength',$,IFCPRESSUREMEASURE(30),#52);
#1110= IFCMATERIALPROPERTIES('Concrete',$(#1102,#1103,#1104,#1105,#1107,#1109),#1101);
#1111= IFCRELASSOCIATESMATERIAL('IHYtfgYUJbvf6HY8IJ45fb',#20,$,$,(#500,#600,#700),#1101);

```

Figura 5 – Parte do arquivo IFC elaborado em um editor de texto simples.

As instâncias de *IfcPropertySet*, nas linhas #1100, #1106 e #1108, apresentam cinco atributos, os quais são separados por vírgula. Para este artigo, o atributo de interesse é o quinto, pois este compreende o conjunto de propriedades. Destaca-se, que o terceiro atributo de *IfcPropertySet* identifica a qual Pset_XXX pertence o conjunto de propriedades definido.

Então, observa-se que o quinto atributo das instâncias faz referência às linhas #1102, #1103, #1104, #1105, #1107 e #1109. Estas linhas correspondem às propriedades que foram requisitadas. Tomando como exemplo a linha #1109, na Figura 6 demonstra-se a definição da propriedade relativa à resistência à compressão.

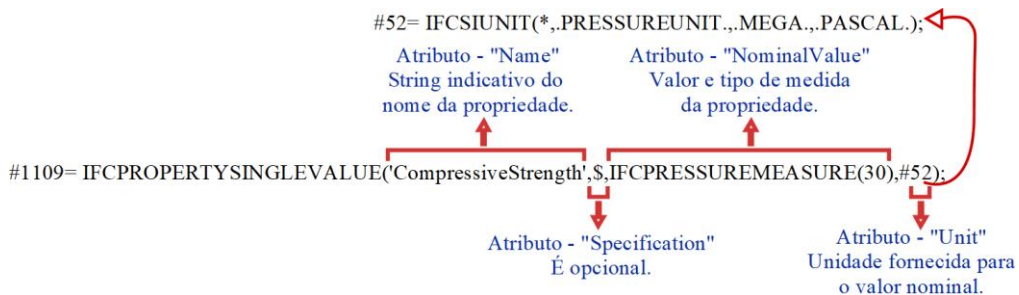


Figura 6 – Definição da propriedade referente à resistência à compressão.

Percebe-se que a Resistência à Compressão, identificada pela *string* de nome “CompressiveStrength”, 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. As propriedades listadas devem ser associadas ao material concreto; para isso, utiliza-se o *IfcMaterialProperties* (linha #1110). Esta entidade, por meio do seu quarto atributo, atribui o conjunto de propriedades apresentado em seu terceiro atributo ao *IfcMaterial* (linha #1101). No primeiro atributo do *IfcMaterial* se define o nome do material (Concrete).

Após isso, associa-se a instância de *IfcMaterial* aos elementos que, neste caso, são três longarinas, as quais estão representadas no arquivo IFC por instâncias de *IfcBeam*. Para realizar essa associação, pode-se empregar o relacionamento *IfcRelAssociatesMaterial* (linha #1111), definindo em seu quinto atributo as longarinas (que correspondem às linhas #500, #600 e #700) e em seu sexto atributo o material que será atribuído às longarinas, que se trata do concreto e está definido pela instância de *IfcMaterial* (linha #1101). Todo o processo descrito pode ser observado na Figura 7.

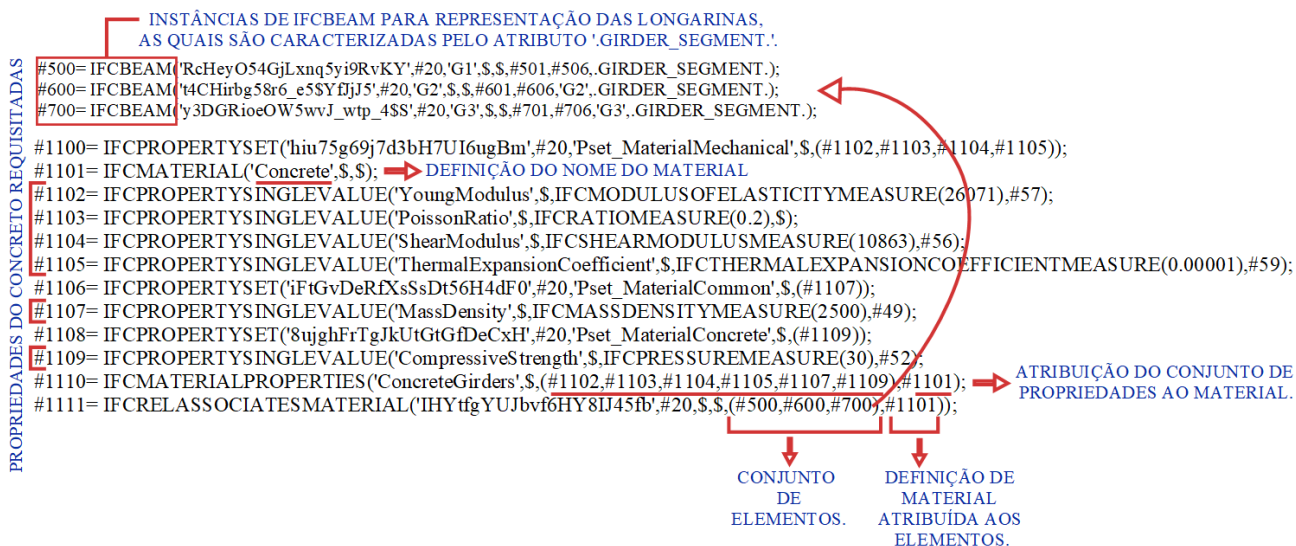


Figura 7 – Definição do material que compõe as longarinas.

O arquivo IFC foi aberto no *BIMCollab* para demonstrar a correspondência das propriedades requisitadas com o concreto e com as longarinas (Figura 8).

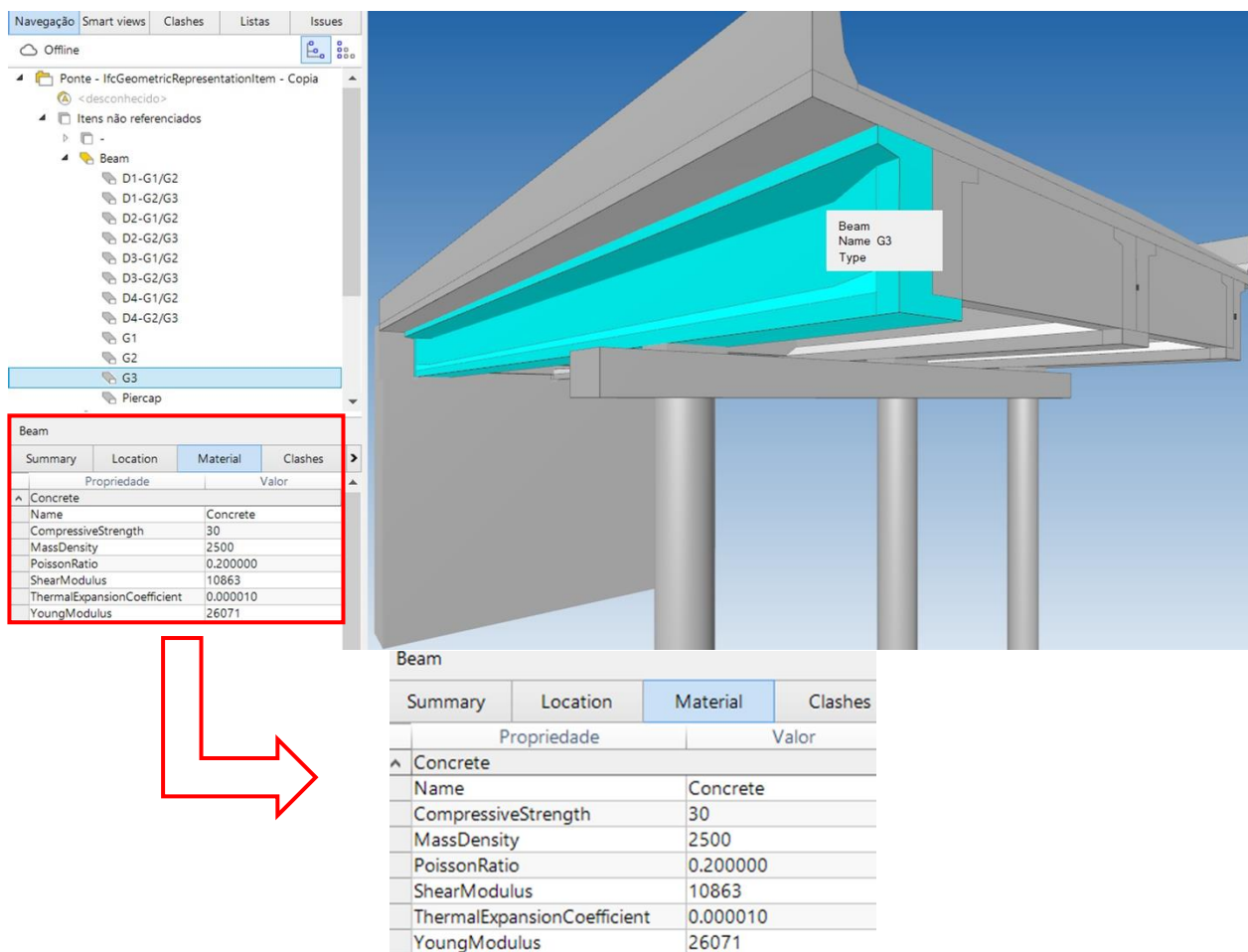


Figura 8 – Propriedades do concreto expostas no visualizador de modelos BIM.

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.

Baseando-se na padronização da representação das informações no arquivo IFC, o algoritmo de varredura será elaborado para detectar *strings* correspondentes aos nomes das propriedades, e ao

encontrar a linha correspondente a *string* desejada, verificar se o valor da propriedade foi devidamente preenchido e a qual material (definido pela instância de *IfcMaterial*) corresponde, tendo em vista a entidade *IfcMaterialProperties* que atribui um conjunto de propriedades a uma definição de material. Também deve ser analisado para quais elementos do modelo (definidos por instâncias de *IfcBeam*, *IfcSlab*, *IfcColumn*, etc.) a instância de *IfcMaterial* foi atribuída, considerando a verificação da entidade de relacionamento *IfcRelAssociatesMaterial*.

À vista disso, verifica-se como o processo de mapeamento dos dados com base no IFC que, neste trabalho, fora demonstrado para informações necessárias para análise estrutural, é tão importante.

3.6. Importância da correta representação das informações no arquivo IFC

É possível citar dois cenários que evidenciam a importância da correta representação das informações no arquivo IFC do modelo BIM de uma ponte:

- Fase de projeto: ao exportar o arquivo IFC de uma ponte de um software de modelagem para um software de análise estrutural. Considerando que os provedores dos softwares utilizados neste processo tenham implementado o IFC corretamente, as informações necessárias para análise estrutural serão interpretadas e utilizadas pelo software que irá importar o arquivo. No entanto, se a implementação do IFC não tiver sido realizada de forma adequada, as informações não serão transmitidas, tornando necessário reinseri-las manualmente.
- Fase de operação: para avaliação da integridade estrutural. Devido ao processo de degradação natural que as estruturas estão submetidas, torna-se necessário avaliá-las periodicamente, podendo ser preciso acessar as informações de projeto. Considerando uma ponte existente, essas informações podem ser encontradas ao abrir o seu arquivo IFC em um software BIM, o que permitiria, por exemplo, encontrar a resistência do concreto utilizada no projeto e compará-la com a atual, permitindo a avaliação da perda de resistência. Se essas informações estivessem documentadas apenas em folhas de projeto, poderiam ser perdidas e se estivessem disponíveis apenas em arquivos nativos de softwares, a depender da versão dos arquivos, poderiam não ser mais abertos em virtude das atualizações dos softwares.

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.

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 definição e validação 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 este 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 requisitadas no arquivo IFC do modelo, que é com base nas *strings* correspondentes aos nomes que as definem. 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, demonstrou-se que as inconsistências acerca da aplicação do LOD podem trazer prejuízos ao 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 difusão do BIM na indústria da AECO depende de pesquisas na área e a apresentada contempla uma das etapas de uma pesquisa que se encontra em desenvolvimento. Neste trabalho, abordou-se o estudo da representação das informações no arquivo IFC do modelo da ponte. A próxima etapa contemplará o desenvolvimento do algoritmo e testes com o modelo BIM de uma ponte com elementos de concreto.

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.
- SANTOS, E. T. Building Information Modeling and Interoperability. 2009. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/38977156_Building_Information_Modeling_and_Interoperability>. Acesso em: 18 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.