

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA**

**O cenário BIM nos projetos de pontes: uma abordagem sobre a  
interoperabilidade de softwares**

Letícia Negris Gardioli  
*Magister Scientiae*

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2025**

**LETÍCIA NEGRIS GARDIOLI**

**O cenário BIM nos projetos de pontes: uma abordagem sobre a interoperabilidade de softwares**

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: Diogo Silva de Oliveira

Coorientadores: Kleos M. L. C. Junior  
Jose C. Lopes Ribeiro

**VIÇOSA - MINAS GERAIS  
2025**

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

T

G224c Gardioli, Letícia Negrís, 1999-  
2025 O cenário BIM nos projetos de pontes: uma abordagem  
sobre a interoperabilidade de softwares / Letícia Negrís Gardioli.  
– Viçosa, MG, 2025.  
1 dissertação eletrônica (131 f.): il. (algumas color.).

Orientador: Diôgo Silva de Oliveira.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa,  
Departamento de Engenharia Civil, 2025.  
Referências bibliográficas: f. 126-131.  
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2025.353>  
Modo de acesso: World Wide Web.

1. Modelagem de informação da construção. 2. Pontes -  
Projetos e construção. I. Oliveira, Diôgo Silva de, 1988-.  
II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia  
Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.  
III. Título.

CDD 22. ed. 690.0285

**LETÍCIA NEGRIS GARDIOLI**

**O cenário BIM nos projetos de pontes: uma abordagem sobre a interoperabilidade de softwares**

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: 26 de fevereiro de 2025.

Assentimento:

---

Letícia Negris Gardioli  
Autora

---

Diogo Silva de Oliveira  
Orientador

Essa dissertação foi assinada digitalmente pela autora em 26/05/2025 às 19:50:13 e pelo orientador em 26/05/2025 às 20:19:12. As assinaturas têm validade legal, conforme o disposto na Medida Provisória 2.200-2/2001 e na Resolução nº 37/2012 do CONARQ. Para conferir a autenticidade, acesse <https://siadoc.ufv.br/validar-documento>. No campo 'Código de registro', informe o código **3GYI.P93D.45PR** e clique no botão 'Validar documento'.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, fonte de sabedoria e força. Tu és meu refúgio, em quem sempre confiarei. Sua orientação divina trouxe alento e paz.

Agradeço imensamente aos meus pais Maria Luciana e Cláudio, que sempre incentivaram seus filhos a seguir o caminho dos estudos, nos dando total apoio e estrutura para construirmos nosso futuro. Exemplos de humanidade, amor e cuidado.

Aos meus irmãos, Ana Clara e Luiz Fernando, símbolos de companheirismo e afeto, sempre presentes para uma boa conversa, um aconselhamento e momentos de alegria e amor.

Agradeço profundamente aos meus avós por serem meus maiores exemplos. Minha avó Maria da Penha, quero um dia ter a sorte de ser um terço do que a senhora é, mulher forte, à frente do seu tempo, sábia e tão amorosa. Meu avô Sabino, que a sua humildade sempre seja para mim um ideal.

Aos meus amigos, que me acolhem com minhas imperfeições, me amparam nos momentos difíceis e comemoram comigo as minhas vitórias. À, Livia, agradeço por sempre ser colo, carinho e amor.

Ao professor Diôgo, por me orientar com maestria, ser um exemplo de profissional e ser humano, a quem me espelho e admiro.

Ao professor Kléos por me inserir na pesquisa e ser parte fundamental da minha jornada acadêmica.

Ao DNIT pelo apoio financeiro concedido, viabilizando a realização desta pesquisa. E a todos os membros do LABIM que foram partes integrantes deste processo.

Este trabalho foi realizado com o apoio das seguintes agências de pesquisa brasileiras: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG) e Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq).

"Travessia. A vida é travessia." João Guimarães Rosa

## RESUMO

GARDIOLI, Letícia Negris, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2025. **O cenário BIM nos projetos de pontes: uma abordagem sobre a interoperabilidade de softwares.** Orientador: Diogo Silva de Oliveira. Coorientadores: Kleos Magalhaes Lenz Cesar Junior e Jose Carlos Lopes Ribeiro.

O BIM representa um significativo avanço na indústria da construção civil, permitindo elaborar modelos complexos de forma detalhada e integrada. Com a parametrização de objetos é possível atribuir informações ao modelo 3D, definindo-o visualmente e semanticamente, possibilitando, assim, que ele seja, além de um modelo tridimensional, uma representação virtual da construção rico em informações. Considerando seu potencial, é importante que esta nova tecnologia tenha aplicabilidade real não só em projetos de edificações, onde seu uso já é bem consolidado, mas também, em projetos de infraestrutura no qual ainda se vivenciam poucos avanços. Nesse sentido, o presente trabalho busca avaliar o atual cenário da utilização do BIM em projetos de pontes dando ênfase à interoperabilidade entre softwares, um dos principais pilares do BIM. Para isso elaborou-se dois modelos BIM de uma ponte monolítica em concreto armado, em softwares de modelagem distintos, atribuindo semântica através da definição das entidades IFC específicas de cada elemento estrutural, que foram modelados através de objetos paramétricos. A partir dos modelos BIM, os arquivos .ifc gerados foram exportados e importados em quatro softwares comerciais de empresas distintas, avaliando-se o intercâmbio de informações entre os cinco softwares. Ao final do desenvolvimento do estudo, percebeu-se que o nível de interoperabilidade entre os softwares analisados inviabiliza a aplicação de um fluxo OpenBIM em projetos de pontes uma vez que o resultado médio de transmissão de informações entre todos os softwares, independente da ferramenta de modelagem utilizada para gerar o arquivo .ifc, corresponde a cerca de 51%, mostrando que ainda há um longo um longo caminho para que haja o pleno emprego do BIM neste tipo de projeto.

Palavras-chave: BIM, infraestrutura, projeto de pontes, fluxo OpenBIM, nível de interoperabilidade.

## ABSTRACT

GARDIOLI, Leticia Negrís, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2025.  
**The BIM scenario in bridge projects: an approach on software interoperability.**  
Adviser: Diogo Silva de Oliveira. Co-advisers: Kleos Magalhaes Lenz Cesar Junior  
and Jose Carlos Lopes Ribeiro.

BIM represents a significant advancement in the construction industry, allowing for the development of complex models in a detailed and integrated manner. With object parametrization, it is possible to assign information to the 3D model, defining it both visually and semantically, thus enabling it to be, in addition to a three-dimensional model, a virtual representation of the construction rich in information. Considering its potential, it is important that this new technology be applicable not only to building projects, where its use is already well established, but also to infrastructure projects, in which few advances have been made. In this regard, the present study aims to evaluate the current state of BIM application in bridge projects, emphasizing the interoperability between software, one of the main pillars of BIM. To this end, two BIM models of a monolithic reinforced concrete bridge were created using distinct modeling software, assigning semantics through the definition of specific IFC entities for each structural element, which were modeled using parametric objects. From the BIM models, the generated .ifc files were exported and imported into four commercial software from different companies, evaluating the exchange of information between the five software. At the end of the study, it was observed that the level of interoperability between the analyzed software hinders the application of an OpenBIM workflow in bridge projects, as the average information transmission rate between all the software, regardless of the modeling tool used to generate the .ifc file, was about 51%, indicating that there is still a long way to go for full implementation of BIM in this type of project.

Keywords: BIM, infrastructure, bridge project, OpenBIM workflow, interoperability level.

# SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	15
1.2. OBJETIVOS .....	17
1.2.1. Objetivo Geral .....	17
1.2.2. Objetivos Específicos .....	17
1.3. JUSTIFICATIVA.....	18
1.3.1. Âmbito governamental .....	18
1.3.2. Âmbito acadêmico .....	20
2. REFERENCIAL TEÓRICO .....	25
2.1. BIM.....	25
2.1.1. Definição .....	25
2.1.2. Parametrização.....	26
2.1.3. Colaboração .....	29
2.1.3.1. CDE (Commom Data Environment).....	30
2.1.4. Interoperabilidade.....	31
2.1.5. IFC .....	32
2.2. PROJETO DE PONTES.....	37
2.2.1. Definições e Concepção .....	37
2.2.2. Levantamento de Ações.....	38
2.2.2.1. Ações Permanentes .....	38
2.2.2.2. Ações Variáveis .....	39
2.3. BIM NOS PROJETOS DE INFRAESTRUTURA PÚBLICA.....	39
2.4. PROJETO DE PONTES EM BIM .....	41
2.4.1. Análise estrutural integrada .....	43
2.4.2. Ferramentas BIM disponíveis.....	46
3. METODOLOGIA.....	53
3.1. ORGANIZAÇÃO .....	53
3.2. ETAPA 1 .....	54
3.3. ETAPA 2 .....	64
3.3.1. Modelagem BIM .....	64
3.3.2. Atribuições das entidades IFC.....	68

3.3.3.	Configuração de importação IFC .....	69
3.3.4.	Validação do arquivo .ifc .....	69
3.3.5.	Importação pelo CSIBridge 2024 .....	73
3.3.6.	Importação pelo AllPlan Engineering 2024 .....	75
3.3.7.	Importação pelo OpenBridge Design 2023 .....	78
3.3.8.	Importação pelo Scia Engineer 22.1 .....	81
3.4.	ETAPA 3 .....	84
3.4.1.	Modelagem BIM .....	84
3.4.2.	Atribuições das entidades IFC .....	91
3.4.3.	Configuração de importação IFC .....	92
3.4.4.	Validação do arquivo .ifc .....	95
3.4.5.	Importação pelo CSIBridge 2024 .....	98
3.4.6.	Importação pelo Revit .....	101
3.4.7.	Importação pelo OpenBridge <i>Designer</i> 2023 .....	105
3.4.8.	Importação pelo Scia Engineer 22.1 .....	106
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES .....	110
4.1.	ETAPA 1 .....	110
4.2.	CRITÉRIOS DE ANÁLISE – ETAPAS 2 E 3 .....	111
4.3.	ETAPA 2 .....	113
4.3.1.	Análise quantitativa .....	113
4.3.2.	Análise qualitativa .....	116
4.3.3.	Nível de Interoperabilidade .....	116
4.4.	ETAPA 3 .....	118
4.4.1.	Análise quantitativa .....	118
4.4.2.	Análise qualitativa .....	121
4.4.3.	Nível de Interoperabilidade .....	122
5.	CONCLUSÕES .....	123
6.	SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS .....	125
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	126

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Obras inacabadas no Brasil. ....	18
Figura 2: Motivo das paralisações das obras públicas no Brasil. ....	19
Figura 3: Organização dos artigos analisados de acordo com as categorias definidas. ....	20
Figura 4: Resultados por co-ocorrência de palavras-chave da BUSCA 01. ....	23
Figura 5: Resultados por co-ocorrência de palavras-chave da BUSCA 02. ....	23
Figura 6: Descrição geométrica da torre de cabos da ponte estaiada. ....	27
Figura 7: Modelo tridimensional de uma ponte estaiada. ....	27
Figura 8: Fluxo de modelagem através de objetos paramétricos. ....	28
Figura 9: Pilares BIM. ....	29
Figura 10: Estrutura geral do IFC4x3. ....	35
Figura 11: Arquitetura de dados do IFC (Árvore 3D). ....	36
Figura 12: Comparação entre modelos BIM de infraestrutura e de edificações (CORRÊA et al., 2019). ....	41
Figura 13: Representações diferentes de uma mesma conexão de acordo com o tipo de visualização utilizado. ....	45
Figura 14: Ponte modelada no Allplan. ....	48
Figura 15: Ponte modelada no Civil 3D. ....	48
Figura 16: Ponte modelada no OpenBridge e modelo analítico exportado do OpenBridge para o RM. ....	48
Figura 17: Fluxo de trabalho utilizando softwares da Allplan. ....	49
Figura 18: Fluxo de trabalho utilizando softwares da AutoDesk. ....	49
Figura 19: Fluxo de trabalho utilizando softwares a Bentley. ....	49
Figura 20: Etapas de desenvolvimento do projeto. ....	53
Figura 21: Nomenclatura definida para organização e definição das pontes pré-moldadas com longarinas protendidas. ....	54
Figura 22: Nomenclatura definida para organização e definição das pontes mistas em aço e concreto armado. ....	55
Figura 23: Código de nomeação das pontes e demais arquivos referentes a cada uma delas. .	55
Figura 24: Grupo de trabalho atuante no desenvolvimento do catálogo de pontes. ....	56
Figura 25: Produtos desenvolvidos ao longo da produção do catálogo. ....	56
Figura 26: Quantidade final de elementos detalhados em prancha. ....	57

Figura 27: Família paramétrica desenvolvida para modelagem dos cabos de protensão de cada ponte. ....	57
Figura 28: Organização das famílias paramétricas criadas no Revit 2024. ....	58
Figura 29: Organização do drive destinado aos arquivos provenientes do catálogo. ....	59
Figura 30: Módulos de pontes desenvolvidos para verificar a compatibilidade dos elementos dimensionados. ....	61
Figura 31: Ponte com três vãos de 30 m, classe I-A com passeio de tipologia pré-moldada com longarinas protendidas. ....	61
Figura 32: Fluxo de trabalho seguido ao longo de todo o projeto. ....	63
Figura 33: MVDs predefinidos por default do Revit 2024. ....	64
Figura 34: Requisitos de troca certificados pela BuildingSMART para o Revit 2024. ....	65
Figura 35: Configuração de exportação do arquivo ifc no Revit. ....	65
Figura 36: Vista isométrica do modelo BIM. ....	66
Figura 37: Seção transversal do projeto-base. ....	66
Figura 38: Seção longitudinal do projeto-base. ....	66
Figura 39: Dimensões do encontro e defesa do projeto-base – vista isométrica. ....	67
Figura 40: Configurações de exportação do IFC no Revit 2024. ....	69
Figura 41: Importação do arquivo .ifc gerado através do modelo produzido pelo Revit 2024 no visualizador usBIM.browser v.3.2.1. ....	70
Figura 42: Verificação da importação dos elementos Beam pelo visualizador de IFC para o arquivo .ifc gerado através do modelo produzido pelo Revit 2024. ....	71
Figura 43: Resultado da validação pelo leitor da BuildingSMART para o arquivo .ifc gerado através do modelo produzido pelo Revit 2024. ....	71
Figura 44: Descrição do erro relativo às regras normativas do IFC para o arquivo .ifc gerado através do modelo produzido pelo Revit 2024. ....	72
Figura 45: Relatório de importação gerado pelo CSIBridge 2024 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM gerado no Revit 2024. ....	73
Figura 46: Modelo gerado pelo CSIBridge 2024 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM desenvolvido no Revit 2024. ....	74
Figura 47: Dimensões de elementos do modelo BIM carregadas pelo CSIBridge 2024 ao importar o arquivo .ifc. ....	75
Figura 48: Modelo gerado pelo Allplan Engineering 2024 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM desenvolvido no Revi 2024. ....	76
Figura 49: MVD's certificados pela BuildingSMART para o Allplan Engineering 2024. ....	76

Figura 50: Relatório de importação gerado pelo Allplan Engineering 2024 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM gerado no Revit 2024.....	77
Figura 51: MVD's certificados pela BuildingSMART para o OpenBridge Design 2023. ....	78
Figura 52: Modelo gerado pelo Open Bridge ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM. ....	78
Figura 53: Planta baixa gerada pelo OpenBridge Design 2023 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM desenvolvido no Revit 2024.....	79
Figura 54: Seleção do elemento no OpenBridge Design 2023 por meio do material atribuído a ele. ....	79
Figura 55: Organização e quantificação dos elementos com base em seu material no OpenBridge Design 2023. ....	80
Figura 56: Exemplo de erro semântico apresentado pelo Open Bridge ao importar o arquivo .ifc. ....	80
Figura 57: MVD's certificados pela BuildingSMART para o Scia Engineer 22.1.....	81
Figura 58: Modelo gerado pelo Scia Engineer 22.1 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM desenvolvido no Revit 2024. ....	81
Figura 59: Configuração e relatório de importação gerado pelo Scia Engineer 22.1 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM gerado no Revit 2024.....	82
Figura 60: Eixos importados pelo Scia Engineer 22.1 e modelo analítico gerado pelo software a partir do modelo BIM produzido no Revit 2024. ....	83
Figura 61: Modelagem do encontro no Allplan Bridge.....	84
Figura 62: Definição da seção transversal da superestrutura da ponte.....	85
Figura 63: Atribuição das seções do tabuleiro ao longo do grid da ponte.....	85
Figura 64: Criação das mísulas das longarinas.....	86
Figura 65: Inserção das travessas nos pilares através dos pontos de referência.....	87
Figura 66: Seção transversal dos elementos dos apoios.....	87
Figura 67: Criação e inserção dos apoios da ponte. ....	88
Figura 68: Criação de um novo material pelo Allplan Bridge 2024.....	89
Figura 69: Materiais predefinidos no BIM Plus. ....	89
Figura 70: Inserção dos materiais nos apoios (pilares, blocos de fundação e estacas).....	90
Figura 71: Modelo tridimensional da ponte finalizado no Allplan Bridge 2024.....	90
Figura 72: Atribuição das entidades IFC aos objetos modelados.....	92
Figura 73: Modelo BIM importado no Allplan Engineering 2024.....	92
Figura 74: Definição das organizações de projeto de acordo com as etapas construtivas. ....	93
Figura 75: Atribuição semântica ao projeto, ou seja, definição do tipo de obra. ....	94

Figura 76: Definição semântica das partes que compõem o projeto. ....	94
Figura 77: Relatório de importação IFC gerado pelo Allplan Engineering 2024.....	95
Figura 78: Importação do modelo BIM no visualizador do IFC usBIM.browser v. 3.2.1. ....	96
Figura 79: Verificação dos elementos de vigas na importação do .ifc pelo usBIM.browser v. 3.2.1. ....	97
Figura 80: Resultado da validação do arquivo .ifc pelo validador bSI Validation Service da BuildingSMART.....	98
Figura 81: Relatório de importação gerado pelo CSIBridge 2024 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM gerado no Allplan Bridge 2024. ....	99
Figura 82: Resultado da representação geométrica pelo CSIBridge 2024 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM gerado no Allplan Bridge 2024.....	99
Figura 83: Reconhecimento dos materiais associados aos elementos pelo CSIBridge 2024. ....	100
Figura 84: Análise das propriedades reconhecidas dos elementos importados pelo CSIBridge 2024. ....	101
Figura 85: Resultado da representação geométrica pelo Revit 2024 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM gerado no Allplan Bridge 2024. ....	101
Figura 86: Interpretação semântica da longarina ao importar o arquivo .ifc no Revit 2024. ....	102
Figura 87: Materiais interpretados pelo Revit 2024 ao importar o arquivo .ifc. ....	103
Figura 88: Criação de vistas do modelo BIM pelo Revit 2024 a partir da importação do arquivo .ifc. ....	104
Figura 89: Inserção de armaduras dentro da travessa da ponte importada no Revit 2024 através do vínculo IFC. ....	104
Figura 90: Resultado da representação geométrica pelo OpenBridge Design 2023 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM gerado no Allplan Bridge 2024.....	105
Figura 91: Vista lateral da ponte importada através do vínculo IFC pelo OpenBridge Design 2023.....	105
Figura 92: Verificação dos elementos importados pelo OpenBridge Design 2023. ....	106
Figura 93: Configuração e relatório de importação gerado pelo Scia Engineer 22.1 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM gerado no Allplan Bridge 2024 para análise da geometria. ....	107
Figura 94: Resultado da representação geométrica pelo Scia Engineer 22.1 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM gerado no Allplan Bridge 2024.....	107
Figura 95: Análise do reconhecimento das entidades IFC pelo Scia Engineer 22.1 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM concebido no Allplan Bridge 2024. ....	108

Figura 96: Configuração e relatório de importação gerado pelo Scia Engineer 22.1 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM gerado no Allplan Bridge 2024 como modelo analítico. ....	109
Figura 97: Resultado da representação do modelo analítico pelo Scia Engineer 22.1 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM gerado no Allplan Bridge 2024.....	109
Figura 98: Método utilizado para realização da análise quantitativa. ....	111
Figura 99: Resultado em gráfico de barras dos parâmetros lidos pelo CSIBridge 2024 ao importar o arquivo .ifc gerado a partir do modelo BIM desenvolvido no Revit 2024. ....	113
Figura 100: Resultado em gráfico de barras dos parâmetros lidos pelo Allplan Engineering 2024 ao importar o arquivo .ifc gerado a partir do modelo BIM desenvolvido no Revit 2024. ....	113
Figura 101: Resultado em gráfico de barras dos parâmetros lidos pelo OpenBridge Design 2023 ao importar o arquivo .ifc gerado a partir do modelo BIM desenvolvido no Revit 2024. ....	114
Figura 102: Resultado em gráfico de barras dos parâmetros lidos pelo Scia Engineer 22.1 ao importar o arquivo .ifc gerado a partir do modelo BIM desenvolvido no Revit 2024. ....	114
Figura 103: Nível de interoperabilidade - Análise quantitativa feita a partir do modelo BIM desenvolvido no Revit 2024. ....	115
Figura 104: Nível de Interoperabilidade - Análise qualitativa feita a partir do modelo BIM desenvolvido no Revit 2024. ....	116
Figura 105: Nível de Interoperabilidade geral de cada software analisado obtido a partir do modelo BIM desenvolvido no Revit 2024.....	117
Figura 106: Resultado em gráfico de barras dos parâmetros lidos pelo CSIBridge 2024 ao importar o arquivo .ifc gerado a partir do modelo BIM do Allplan Bridge 2024. ....	118
Figura 107: Resultado em gráfico de barras dos parâmetros lidos pelo Revit 2024 ao importar o arquivo .ifc gerado a partir do modelo BIM desenvolvido no Allplan Bridge 2024.....	118
Figura 108: Resultado em gráfico de barras dos parâmetros lidos pelo OpenBridge Design 2023 ao importar o arquivo .ifc gerado a partir do modelo BIM do Allplan Bridge 2024.....	119
Figura 109: Resultado em gráfico de barras dos parâmetros lidos pelo Scia Engineer 22.1 ao importar o arquivo .ifc gerado a partir do modelo BIM do Allplan Bridge 2024. ....	119
Figura 110: Nível de interoperabilidade - Análise quantitativa feita a partir do modelo BIM desenvolvido no Allplan Bridge 2024. ....	120
Figura 111: Nível de Interoperabilidade - Análise qualitativa feita a partir do modelo BIM desenvolvido no Allplan Bridge 2024. ....	121
Figura 112: Nível de Interoperabilidade geral de cada software analisado obtido a partir do modelo BIM desenvolvido no Allplan Bridge 2024.....	122

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Códigos de busca utilizados para a revisão bibliométrica. ....	22
Tabela 2: Análise do fluxo de trabalho a partir da utilização dos softwares da Allplan. ....	50
Tabela 3: Análise do fluxo de trabalho a partir da utilização dos softwares da Autodesk.....	51
Tabela 4: Análise do fluxo de trabalho a partir da utilização dos softwares da Bentley.....	52
Tabela 5: Classes IFC para cada elemento da ponte.....	68
Tabela 6: Entidades IFC de cada elemento da ponte. ....	91
Tabela 7: Parâmetros de avaliação da importação do arquivo .ifc gerado através do modelo BIM desenvolvido do Revit 2024 pelos softwares analisados.....	111
Tabela 8: Peso das informações do modelo BIM de acordo com a relevância na elaboração da análise estrutural.....	112
Tabela 9: Subdivisão dos critérios de avaliação qualitativa de acordo com os critérios de relevância apresentados para a elaboração da análise estrutural. ....	112

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Apesar dos benefícios advindos do uso da tecnologia BIM (*Building Information Modeling*) na indústria da construção civil, ainda existem lacunas que precisam ser solucionadas para promover o seu pleno emprego, tanto em projetos de edificações, quanto, principalmente, em projetos de infraestrutura (CORRÊA *et al.*, 2019).

Uma dessas lacunas relaciona-se com o fato de o BIM exigir uma nova metodologia para o realizar desenvolvimento de projetos. Segundo Manzione (2013), percebem-se algumas dificuldades na aplicação desta tecnologia para o aprimoramento do processo de desenvolvimento de projeto por parte dos profissionais. Além disso, existe uma carência na compreensão dos fatores não tecnológicos, como o entendimento do fluxo de projeto trabalho BIM, a interferência nas relações contratuais e a resistência por parte dos profissionais em se adaptar à essa mudança.

Lino, Azenha e Lourenço (2012), apontam que as principais barreiras para sua adoção são:

- a) Investimento, uma vez que os custos para compra de licenças de *softwares* são altos e além disso, deve-se investir em treinamento de equipe e/ou contratação de profissionais qualificados;
- b) Curva de aprendizagem lenta, tendo em vista a complexibilidade dos *softwares*, de onde é possível extrair um grande número de informações, que precisam ser bem geridas e aplicadas;
- c) Envolvimento da equipe, uma vez que um dos pilares do BIM é a colaboração, que necessita do entrosamento entre os profissionais envolvidos, troca de informações entre as disciplinas de projeto, para tornar possível a criação de um modelo único e federado;
- d) Interoperabilidade, uma vez que o BIM não é limitado a um *software* ou empresa. Logo, deve ser possível a comunicação entre *softwares* sem que haja perda semântica, ou de forma que essa perda seja reduzida;
- e) Responsabilização e autoridade, pois os moldes contratuais precisam ser adaptados e devem conter o nível de detalhamento o modelo desejado, além da própria organização interna da empresa, estabelecendo como esses modelos serão armazenados, organizados e compartilhados.

Além disso, Andrade e Ruschel (2009) comentam que algumas particularidades da construção civil dificultam a implementação do BIM, entre elas a grande fragmentação do setor, a construção de um produto único onde raramente um projeto é replicado para vários edifícios ou obras de infraestrutura, a necessidade de detalhamentos precisos e claros e o apego a métodos tradicionais de trabalho em contrapartida à maior exigência por qualidade, eficiência e rapidez do setor. Todos esses aspectos são percebidos no desenvolvimento de projetos de Obras de Arte Especiais (OAE).

Assim, percebe-se que a adoção do BIM é um processo complexo e exige o desenvolvimento de novas estratégias organizacionais, diferentes fluxos de trabalho, mudanças nos modelos contratuais, além do investimento financeiro para aquisição de *softwares* e *hardwares* que consigam processar o número de informações do modelo gerado (SACKS *et al.*, 2016).

O BIM, apesar dos desafios ainda vivenciados, traz retornos significativos uma vez que diminui erros de compatibilidade e minimiza retrabalhos, dado o aumento na precisão e clareza nos detalhamentos construtivos que facilitam a execução (BERNSTEIN *et al.*, 2014). Além disso, equipes das diferentes fases de concepção, em qualquer lugar, conseguem se comunicar e compartilhar informações entre as diferentes disciplinas de projeto (SACKS *et al.*, 2016).

Governos do mundo todo vêm reforçando essa importância através de incentivo, fomento e utilização, empregando a tecnologia em suas obras e estabelecendo normas, decretos e diretrizes, os benefícios retornam em forma de eficiência na aplicação dos recursos públicos (BRITO, 2019).

A deficiência dos projetos é uma das principais responsáveis por irregularidades observadas em obras públicas. Reformulações não planejadas inicialmente e tomadas de decisões no momento da execução que não são documentadas ocasionam desvirtuamento licitatório mediante ao aparecimento de custos não previstos inicialmente e não computados nas propostas contidas nas licitações (GUSMÃO, 2008).

Segundo Strieder e Schreinert (2022), a utilização do BIM nos projetos de infraestrutura possibilita a melhoria no controle e gerenciamento de um extenso volume de dados, na compreensão dos projetos, na transparência e precisão dos orçamentos, além de uma melhor gestão de riscos.

Dentre as obras de responsabilidade pública, destacam-se a construção de pontes que, por sua grandeza, tem considerável impacto arquitetônico nas cidades, além da extrema importância econômica, tendo papel crucial no fluxo de mercadorias e pessoas. A complexibilidade e a magnitude dessas obras de arte especiais, somadas à baixa disponibilidade de mão de obra especializada e de ferramentas computacionais voltadas a este tipo de projeto limitam sua qualidade (SERRA *et al.*, 2022) e o desenvolvimento de metodologias de projeto associadas à novas tecnologias.

Conforme observado, ainda faltam avanços na aplicação do BIM a esse tipo de projeto. Com a versão IFC4X3\_ADD2 (*BuildingSMART*, 2024a), as pontes passaram a ter maior representação através da inserção de parâmetros que conferem sentido real à elementos estruturais específicos. Entretanto, esta versão ainda não foi implementada em grande parte dos *softwares*, como mostrado na página oficial de participantes certificados da *BuildingSMART* (bSI) (*BuildingSMART*, 2025a), o que dificulta a análise do nível de avanços percebidos através dessa nova atualização.

Neste cenário, este trabalho busca explorar o nível de desenvolvimento do BIM para projetos de infraestrutura, em específico à projetos de pontes, destacando os desafios ainda existentes, uma vez que são recentes os avanços percebidos para este tipo de projeto.

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo Geral**

Identificação do atual cenário do desenvolvimento de projetos de pontes utilizando a tecnologia BIM.

### **1.2.2. Objetivos Específicos**

- a) Avaliação do processo do fluxo BIM para projetos de pontes;
- b) Avaliação da interoperabilidade entre os *softwares* utilizados;
- c) Análise comparativa entre *softwares* comerciais para projeto de pontes do ponto de vista da interoperabilidade no BIM.

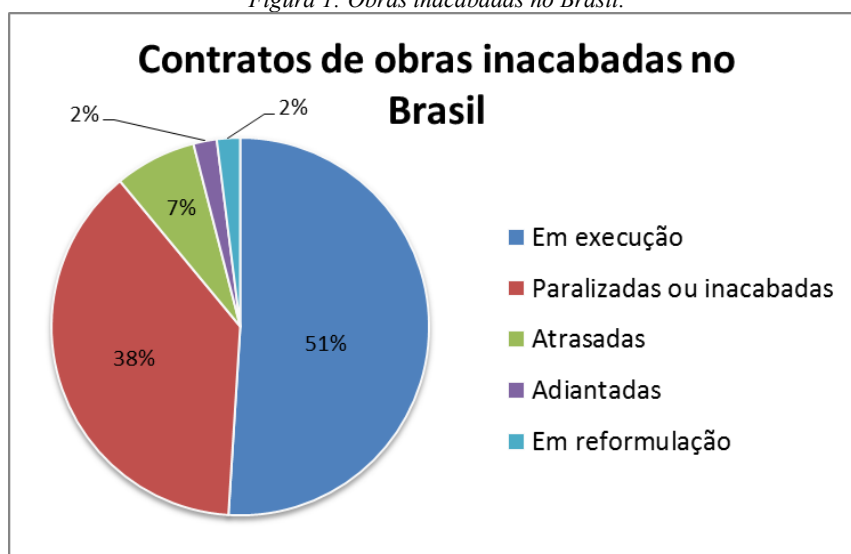
### 1.3. JUSTIFICATIVA

#### 1.3.1. Âmbito governamental

A principal parcela dos investimentos do Estado brasileiro está destinada às obras públicas, (BORDIGNON; ARENAS, 2019). Desta forma, sua gerência influi diretamente na destinação destes recursos. Dentre essas obras, as de infraestrutura são as mais significativas em termos de investimentos.

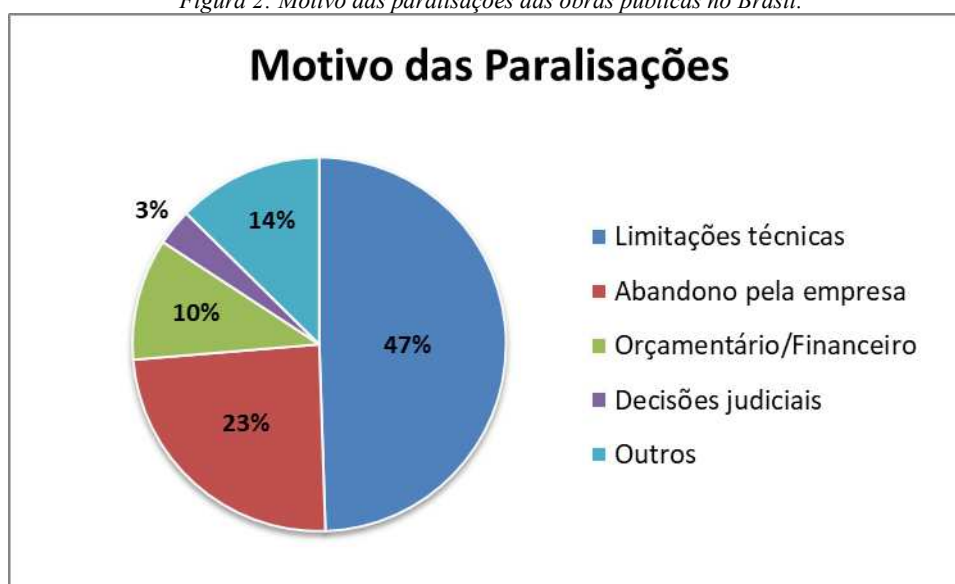
Bordignon e Arenas (2019) mostram que o Tribunal de Contas da União (TCU), em um estudo realizado em 126 obras públicas, identificou que havia irregularidades consideradas graves em 77. Entre estas, 15 tiveram paralisação imediata recomendada. Em um estudo mais recente, Accioly (2022) diz que o Brasil possui mais de 14 mil obras inacabadas, resultando em valores superiores a R\$144 bilhões, como mostrado a Figura 1. O estudo ainda apontou que as principais causas das paralisações são: Limitações técnicas, abandono pela empresa terceirizada, problemas orçamentários e financeiros, e decisões judiciais, como mostrado a Figura 2.

Figura 1: Obras inacabadas no Brasil.



FONTE: Adaptado de (ACCIOLY, 2022).

Figura 2: Motivo das paralisações das obras públicas no Brasil.



FONTE: Adaptado de (ACCIOLY, 2022).

Tais obras destinam-se, ou destinavam-se a escolas, hospitais, pontes, estradas, ciclovias, sistemas de saneamento e urbanização, terminais de passageiros, entre outros. Accioly (2022) destaca em seu artigo que de 30 mil contratos financiados em 2007 pelo FNDE (Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação), mais de 3,6 mil estão inacabados ou paralisados, o equivalente a 12% do total. Desses, 352 projetos nem saíram do papel (ACCIOLY, 2022).

Dentre as principais causas dos problemas acima mencionados está a contratação de empreendimentos com base em projetos básicos deficientes (ACCIOLY, 2022). Segundo Tisaka (2009), o insucesso de obras públicas está ligado a orçamentos ruins, a projetos de engenharia incompletos e à legislação negligenciada pela própria Administração Pública.

Para Andrade (2012), a administração pública brasileira não explora devidamente ferramentas computacionais disponíveis, como *softwares* de projetos de engenharia de alto nível, resultando em projetos de baixa precisão e qualidade. Assim, é preciso atentar-se às inovações tecnológicas e às novas ferramentas de elaboração de projeto, estudando suas potencialidades.

Outro importante ponto a ser levantado é a exigência de órgãos públicos à utilização do BIM. No Brasil, o Decreto Federal N° 10.306 de abril de 2020 estabelece a exigência da utilização do BIM em obras e serviços de engenharia sob responsabilidade de entidades da administração pública federal, conjuntamente com o Decreto N° 11.888 de 2024 que instituiu a Estratégia Nacional de Disseminação do BIM – Estratégia BIM BR. Outro importante

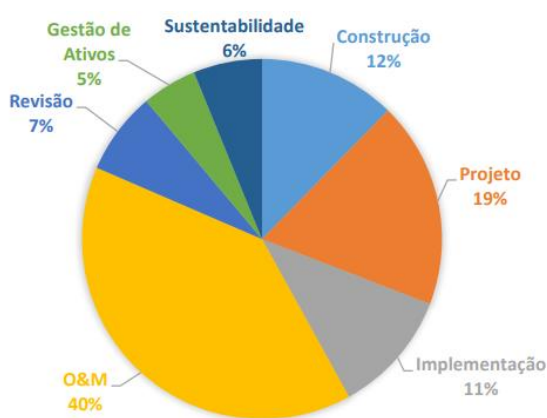
documento é a nova Lei de Licitações Nº 14.133 (2021), que determina a adoção preferencial do BIM ou de tecnologias similares em obras e serviços de engenharia e arquitetura.

É claro o incentivo cada vez maior à utilização do BIM. É preciso, portanto, adaptar-se a este novo paradigma, buscar por referências técnicas e teóricas e progredir no desenvolvimento de pesquisas para melhoria de sua aplicação.

### 1.3.2. Âmbito acadêmico

Nascimento *et al.* (2023) elaboraram um compilado dos principais temas de estudo relacionados ao emprego do BIM em projetos de infraestrutura. A busca foi feita até o dia 17 de março de 2023 e, como resultado, obtiveram 604 artigos. Destes, foram definidos 81 para o estudo mais aprofundado do que se tem de publicações científicas no setor de infraestrutura rodoviária. Para a análise das publicações científicas, Nascimento *et al.* (2023) as organizaram em seis categorias: Implementação, projeto, construção, operação e manutenção (O&M), revisão de literatura e sustentabilidade. Na Figura 3, mostra-se a porcentagem de cada um destes assuntos.

Figura 3: Organização dos artigos analisados de acordo com as categorias definidas.



FONTE: Nascimento *et al.* (2023)

Dentre os 19% de artigos relacionados a projetos, os autores destacam que apenas dois são direcionados especificamente à projetos de pontes em BIM. Eles citam o trabalho de Girardet e Boton (2021) que buscou desenvolver um único arquivo contendo modelos paramétricos de todos os tipos de pontes, utilizando algoritmos para a modelagem de elementos parametrizados em um *software* específico de projeto, que possa ser usado também para análise estrutural.

Nascimento *et al.* (2023) também citam a pesquisa de Korus, Salamak e Jasinski (2021), que tiveram como objetivo criar um processo automatizado para a modelagem de elementos estruturais em aço utilizados em pontes em arco.

Outros trabalhos citados estudam parâmetros IFC (*Industry Foundation Classes*) para elementos BIM de rodovias e para avaliação de riscos de acidentes de trânsito, para identificação de traçado ótimo de rodovias associando o BIM ao GIS (Sistema de Informação Geográficas) e níveis de informação do modelo BIM para projetos de infraestrutura.

Percebe-se, portanto, a necessidade de novos estudos voltados para aplicação do BIM em projetos de pontes, de como acontece a troca de informações entre o modelo arquitetônico e o modelo de análise, quais os avanços percebidos através da atualização do IFC em relação a esse tipo de projeto e o que ainda precisa ser desenvolvido nestes aspectos.

Apesar de estar consolidado como meio principal de interoperabilidade, ainda existem lacunas que impedem a plena colaboração em um fluxo de projetos BIM através do compartilhamento de arquivos IFC. Segundo Birkemo *et al.* (2019), no que tange à elaboração de projetos estruturais, o desafio enfrentado é o de alcançar a integridade do modelo analítico através do modelo BIM. Esse impasse se intensifica ainda mais em projetos de pontes, tendo em vista a recente implementação de classes que representam semanticamente seus elementos em IFC.

A análise e dimensionamento a partir de modelos BIM são áreas de desenvolvimento nas quais a contribuição dos engenheiros civis é particularmente importante. A iniciativa de uma plataforma comum, capaz de gerenciar e transferir os dados entre diferentes *softwares* de forma integrada é conceitualmente interessante, mas está ainda longe de plenamente realizada. O modelo IFC atual apresenta deficiências evidentes, o que torna a validação do modelo de dados aberto uma condição essencial ao sucesso futuro do open BIM enquanto veículo de transferência de informação em formato aberto, bem como sua implementação, acompanhando as atualizações das versões, pelos responsáveis das ferramentas computacionais (FERREIRA *et al.*, 2012).

Entre os obstáculos para o uso eficaz do BIM em projetos estruturais estão o limitado intercâmbio de dados entre *softwares* de arquitetura e de concepção estrutural. O planejamento estrutural pautado em BIM ainda apresenta, portanto, um potencial significativo de aprimoramento. Nesse contexto, os desenvolvedores de *software* de engenharia estrutural têm a oportunidade de influenciar de forma decisiva o desenvolvimento tecnológico, garantindo

que, no futuro, os usuários possam contar com soluções inteligentes e otimizadas (DLUBAL, 2021).

O *OpenBIM* surge como uma promessa de solução na falta de colaboração entre projetos, independente de *software* utilizado. Embora seja de fato uma alternativa real, bem-sucedida em muitos casos de aplicação, atualmente quase não ocorre entre arquitetos e engenheiros estruturais. Nesse caso, o processo falha constantemente devido a resultados de troca de dados inadequados, transmissão insuficiente de informações fundamentais à análise estrutural e constantes ajustes manuais após a importação usando o IFC (DLUBAL, 2021).

Para identificar o cenário atual de abordagem do estudo, foi realizada uma análise bibliométrica utilizando os códigos de busca mostrados na Tabela 1, que traz a codificação e os resultados obtidos utilizando como ferramenta o *Scopus*.

Tabela 1: Códigos de busca utilizados para a revisão bibliométrica.

BUSCA	CÓDIGO	RESULTADOS
BUSCA 01	<i>bridges AND design AND (BIM OR “Building Information Modeling”)</i>	855 resultados
BUSCA 02	<i>bridges AND design AND (BIM OR “Building Information Modeling”) AND interoperability</i>	67 resultados
BUSCA 03	<i>bridges AND design AND (BIM OR “Building Information Modeling”) AND Interoperability AND (IFC OR “Industry Foundation Classes” OR “Open data format”)</i>	19 resultados
BUSCA 04	<i>bridges AND design AND (“analytical model” OR “analysis model” OR “structural model”) AND (BIM OR “Building Information Modeling”)</i>	26 resultados
BUSCA 05	<i>bridges AND design AND (“analytical model” OR “analysis model” OR “structural model”) AND (BIM OR “Building Information Modeling”) AND Interoperability</i>	07 resultados
BUSCA 06	<i>bridges AND design AND (“analytical model” OR “analysis model” OR “structural model”) AND (BIM OR “Building Information Modeling”) AND Interoperability AND (IFC OR “Industry Foundation Classes” OR “Open data format”)</i>	02 resultados

FONTE: O autor.

Processando os dados do Scopus no *Software VOSViewer* e mapeando-os por co-ocorrência de palavras-chave, para a BUSCA 01 e BUSCA 02, que obtiveram maiores números de publicações, tem-se os resultados ilustrados nas Figura 4 e Figura 5.



Percebe-se através da busca que ao adicionar somente o termo “interoperabilidade” à busca, os resultados caem consideravelmente. Isso mostra o quanto ainda são escassos os estudos que tratam de projetos de pontes em BIM de forma interoperável, ou seja, utilizando um modelo único em todas as disciplinas de projeto. Além disso, a pesquisa deixa claro o quanto ainda é desconhecido o fluxo de projetos em BIM para projetos de infraestrutura, em específico de pontes, mesmo com as atualizações do IFC para que elementos específicos de pontes possam ser lidos e interpretados. Assim, percebe-se um viés de pesquisa pouco explorado, com potenciais contribuições científicas para a engenharia de estruturas de pontes.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1. BIM

#### 2.1.1. Definição

O BIM, tecnologia que abrange um poderoso conjunto de ferramentas de gerenciamento e concepção de projetos, consolidou-se recentemente como uma área de pesquisa emergente, sendo aplicado em diversos setores, otimizando tempo, mão de obra e recursos (SINGH *et al.*, 2024).

Há várias definições para BIM. Uma das mais aceitas no meio acadêmico foi elaborada pelos pesquisadores Eastman *et al.* (2008) que associam ao BIM uma tecnologia onde modelos digitais de um ativo são produzidos por ferramentas computacionais avançadas. O BIM impulsiona a evolução da indústria da construção civil, substituindo a forma tradicional baseada na representação 2D da elaboração de projetos e processos por um fluxo de trabalho integrado e interoperável com a construção de um modelo paramétrico tridimensional.

Bradley *et al.* (2016) trazem em seu estudo o conceito segundo o Comitê de Informação de Projetos de Construção (CPIC) que definem BIM “como a arte de gerenciamento e coleta de informações”. Trata-se, portanto, de uma tecnologia que busca aproximar o modelo virtual ao canteiro de obras, com objetos digitais semanticamente ricos em informações que permeiam todas as fases da vida de um empreendimento, desde a concepção arquitetônica inicial, até uma possível demolição decorrida toda sua vida útil (ALVES, 2018).

A essência do BIM é a troca de informações entre todos os envolvidos, que deve ocorrer de forma interoperável e colaborativa, sendo efetivamente tangível quando é interpretado através de *softwares* que utilizam esta metodologia para integração, extrapolando os limites impostos pela utilização de formatos de arquivos nativos, viabilizando a unificação dos projetos num único modelo (LINO; AZENHA; LOURENÇO, 2012). Para isso é preciso uma análise e “reengenharia” dos processos envolvidos, além de uma reavaliação do papel dos profissionais, onde deve ser claro o que cada um desempenhará em cada uma das etapas de projeto, execução e gestão (MANZIONE, 2013).

De acordo com Andrade e Ruschel (2009), o BIM tem como meta a prática integrada de projeto, onde todos os participantes da AEC (Arquitetura, Engenharia e Construção) convergem

seus esforços para a construção de um modelo único, objetivando a representação íntegra da edificação por meio de modelos digitais (CHECCUCCI, 2019).

### 2.1.2. Parametrização

Por meio de um modelo de informação, BIM possibilita a forma de trabalho colaborativo, que desempenha um papel fundamental na organização e partilha de informações necessárias para a definição estrutural. A estrutura passa a ser modelada de forma paramétrica, onde todos os elementos guardam um conjunto de propriedades e características próprias, que os definem (PIRES, 2017).

Segundo Eastman *et al.* (2011) entender o conceito de objetos paramétricos é central para a compreensão do BIM e saber diferenciá-lo de modelos CAD 3D. A modelagem paramétrica, para Andrade e Ruschel (2009), permite representar os objetos por parâmetros e regras associados à sua geometria, assim como, incorporar propriedades não geométricas e características a esses objetos. Ainda de acordo com os autores, modelos paramétricos permitem a extração de relatórios, como quantitativos de materiais e serviços e possibilitam a verificação de inconsistências de projeto de forma automatizada.

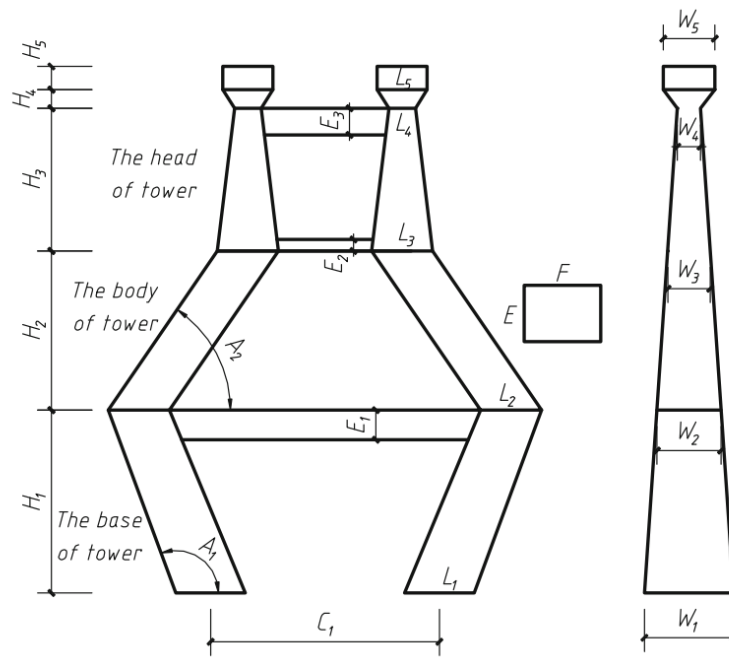
Assim, o desenvolvimento de objetos paramétricos para projetos de pontes representa um ganho enorme na precisão dessas representações gráficas, uma vez que, segundo Sousa (2021), em projetos geométricos de pontes, a definição da geometria dos elementos e suas respectivas representações gráficas é complexa. Um sistema automatizado diminui a possibilidade de erros de incompatibilidade e de compreensão projetual, além de reduzir o tempo de trabalho necessário.

Por esse motivo, vários pesquisadores vêm buscando desenvolver objetos paramétricos para modelagem de pontes. Wang *et al.* (2019) estudaram um método de desenvolvimento de modelagem paramétrica para pontes estaiadas através do Revit, integrando-o ao Visual Studio 2010 pela API (*Application Programming Interface*) do *software* e utilizando a linguagem de programação C#.

Wang *et al.* (2019) se pautaram na ideia de que qualquer modelo tridimensional pode ser decomposto em níveis, indo do ponto à linha, da linha à superfície e da superfície ao corpo. Dois pontos determinam uma linha reta, duas linhas delimitam uma face e duas faces circundam um volume. Portanto, o ponto é considerado o elemento geométrico mais elementar e crucial nesse contexto (WANG *et al.*, 2019). Com base nisso, os autores determinaram pontos base

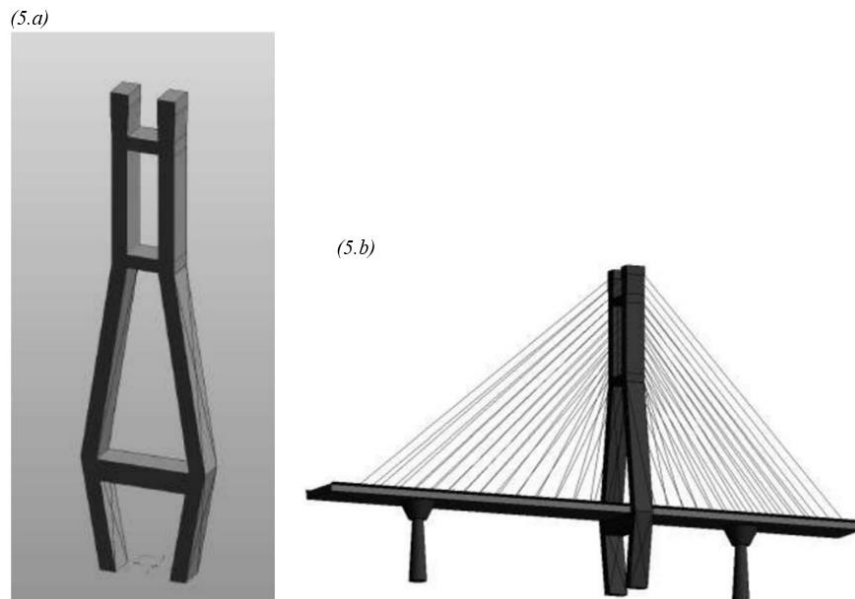
para desenvolver a geometria da torre principal de uma ponte estaiada, e através desses pontos, foram definidos os demais parâmetros de controle, como mostrado na Figura 6. Essas informações são carregadas em um *software* de modelagem por meio da criação de um *plug-in* específico desenvolvido pelos autores, que permite ao usuário gerar o modelo paramétrico a partir dos parâmetros de controle. Na Figura 7.a é mostrado o resultado final do modelo da torre gerado e a Figura 7.b mostra esse modelo associado aos outros elementos da ponte.

Figura 6: Descrição geométrica da torre de cabos da ponte estaiada.



FONTE: Wang et al. (2019)

Figura 7: Modelo tridimensional de uma ponte estaiada.



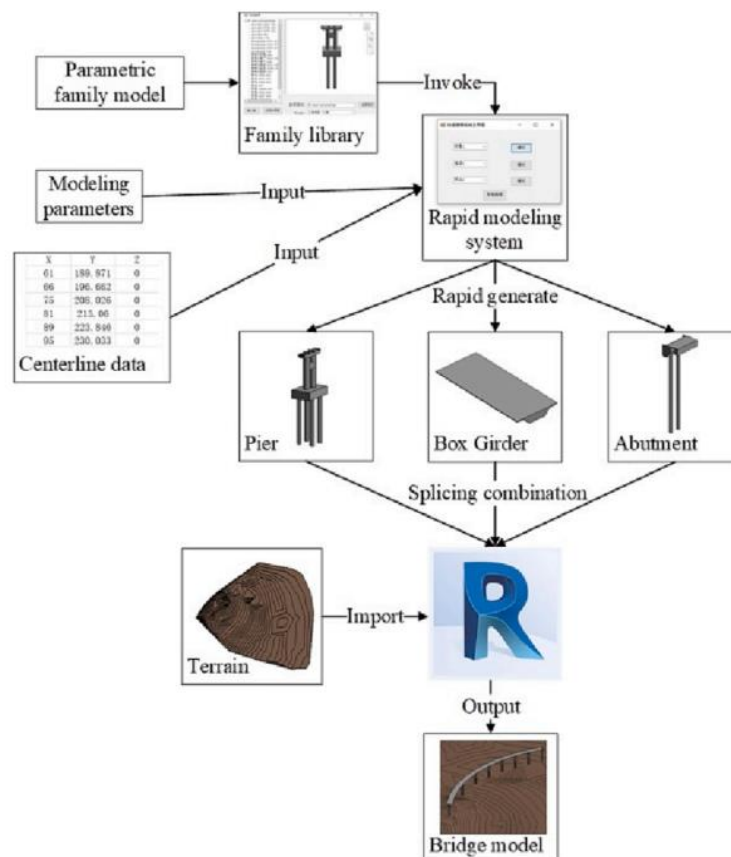
FONTE: Wang et al. (2019)

Outra maneira de se desenvolver objetos paramétricos, de forma mais simples que a demonstrada por Wang *et al.* (2019) é utilizar a própria ferramenta de criação de objetos paramétricos dos *softwares* de modelagem BIM, e nela, definir os parâmetros atribuídos ao elemento. Assim, é possível salvar esses objetos parametrizados e inseri-los ao modelo posteriormente, atribuindo as características desejadas aos parâmetros pré-determinados.

Outro exemplo de pesquisa desenvolvida nesta área é o trabalho de Meng *et al.* (2023) que une o Revit à linguagem de programação C# e utiliza o método de combinação CBR-RBR (*Case Based Reasoning-Rule Based Reasoning*), técnica-chave da inteligência artificial e sistemas especialistas, para a construção de um sistema de modelagem paramétrica de pontes (MENG *et al.*, 2023).

Meng *et al.* (2023) afirmam que é necessário estabelecer regras de modelagem para a parametrização de objetos, de modo que não se crie formulações imprecisas, que resultem em formas irreais e que não atendem às necessidades do usuário. Além disso, estes autores trazem um fluxo de inserção de famílias paramétricas baseadas no Revit, que foi utilizado para a validação dos modelos produzidos, demonstrado na Figura 8.

Figura 8: Fluxo de modelagem através de objetos paramétricos.



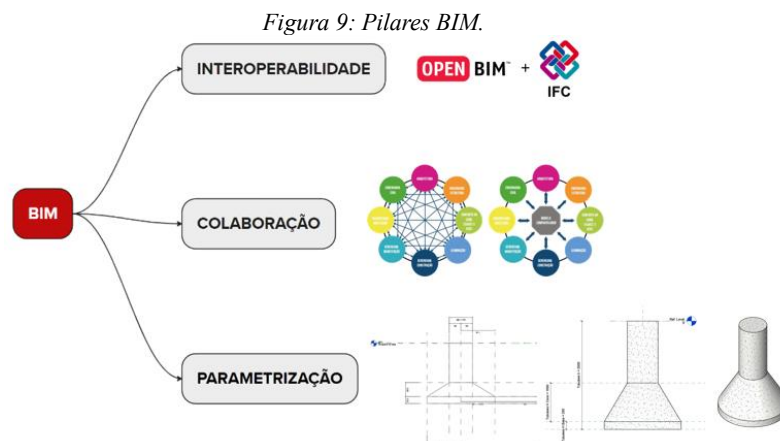
FONTE: Meng *et al.* (2023)

Este fluxo pode ser utilizado para inserir famílias disponibilizadas pelo próprio Revit, ou para inserir novas famílias através das ferramentas disponíveis no *software* ou desenvolvidas com auxílio de outras tecnologias como programação e, através deles, os elementos da ponte podem ser modelados separadamente e depois combinados para formar um único modelo. Os autores não trazem, entretanto, a versão do Revit utilizada. Essa informação é relevante pois pode implicar em mudanças de interface e funcionalidades do *software*.

### 2.1.3. Colaboração

Para Manzione (2013), o método tradicional utilizado nos processos de concepção de projetos é pautado nas entregas de desenho. Essa prática, largamente utilizada no setor da construção civil, por não considerar o fluxo das informações, os conflitos entre projetos e as características intrínsecas de cada peça detalhada gera muitas vezes projetos desconexos e pouco intuitivos, demandando tempo de compreensão e desenvolvimento. Para o autor, “um bom planejamento do processo de projeto é o primeiro passo para melhorar sua gestão”.

Os pilares do BIM são a parametrização, a interoperabilidade e a colaboração, ilustrados na Figura 9. Esses conceitos mudam a forma de projetar e conferem um novo fluxo de troca de informações. Assim, é importante a mudança de postura dos profissionais do setor de AEC, que objetivem multidisciplinaridade e evitem a fragmentação – prática recorrente e que geram enorme retrabalho e incompatibilidades (ANDRADE; RUSCHEL, 2009).



*Fonte: O autor.*

Segundo Jeong *et al.* (2009), a colaboração é melhor aproveitada se os profissionais envolvidos compartilharem seus modelos não só para visualização, mas também para análise direta e desenvolvimento conjunto de todas as competências envolvidas. Além disso, Jeong *et al.* (2009) dizem também que a colaboração também é necessária para a troca de dados entre *softwares* BIM utilizados para o desenvolvimento de modelos em diferentes fases de projeto e

construção, em uma plataforma organizada que tenha como requisito principal a padronização de formatos e nomenclaturas utilizadas além do controle de versões. Nesse contexto o CDE (*Commom Data Environment*) surge como uma poderosa ferramenta de troca e aplicação prática da colaboração.

#### **2.1.3.1. CDE (*Commom Data Environment*)**

Visando a organização e compartilhamento de arquivos, é desejável o uso do CDE. De forma simples, o CDE é uma plataforma colaborativa que permite o acesso, por parte da contratante e do contratado, à documentação de projetos, permitindo a fiscalização a qualquer momento, dos modelos atualizados e especificações técnicas (GOMES *et al.*, 2022).

O Ambiente Comum de Dados – como é normalmente traduzido – vem se tornando uma ferramenta importante no compartilhamento e integração das informações do empreendimento durante todo seu ciclo de vida (PAIVA *et al.*, 2022).

Segundo a ISO 19650–1 (2018), o uso do CDE num fluxo de trabalho colaborativo deve ter a finalidade de gerência de informações durante a gestão e entregas de projetos. O CDE deve conter a integração centralizada dos modelos BIM, de modo a ser possível a coleta organização e compartilhamento dos dados extraídos de cada modelo (PAIVA *et al.*, 2022).

Um CDE tem como utilidade hospedar as informações provenientes dos ativos do modelo BIM para dar suporte ao trabalho colaborativo. O funcionamento do CDE tem como base a organização de arquivos por meio de códigos. Segundo Paiva et al. (2022), a convenção de nomenclatura de arquivos por códigos pode ser complexa, demorada e sujeita a erros, em especial quando utilizada em um projeto que envolve várias equipes. Automatizar os processos de nomenclatura de arquivos promove aprimoramento, precisão e eficiência dos processos de gerência de informações. Cada parte envolvida torna-se responsável pela documentação de seus projetos, que deve seguir o pressuposto nas diretrizes impostas por cada incorporação.

Manziona (2013) defende que o *Building Information Modeling* é um processo que possibilita administrar informações, ou seja, é mais que uma inovação na elaboração de projetos, é também uma nova forma de gerir as informações e monitorar a edificação enquanto o *Building Information Model* consiste num conjunto de modelos digitais unificados gerando um modelo central parametrizado, semanticamente rico, fundamental para a plena aplicação do *Building Information Modeling*.

Um dos motivos da dificuldade na troca de informações entre os modelos BIM é a vasta possibilidade de modelagem que cada *software* disponibiliza, além dos formatos variados de salvamento de arquivo que cada um deles possui e que nem sempre são compatíveis com os demais, principalmente quando não são de uma mesma empresa. Assim, existem múltiplas maneiras de se definir objetos em BIM e os tradutores IFC devem interpretar dados carregados de diferentes formas nos modelos, mas que refletem a mesma intenção de projeto, o que não ocorre de fato (JEONG *et al.*, 2009).

#### **2.1.4. Interoperabilidade**

Um aspecto fundamental do uso do BIM é sua capacidade de integrar funcionalidades de diferentes *softwares*, permitindo a visualização de resultados e o compartilhamento de informações de projeto em várias disciplinas possibilitando a detecção de conflitos ao longo do desenvolvimento projetual, antes da fase de construção. Para isso, é necessário que a troca de informações se dê com a máxima eficiência, ou seja, que estes *softwares* sejam interoperáveis entre si (SINGH *et al.*, 2024).

Interoperabilidade é a capacidade que diferentes sistemas ou componentes tem de se comunicarem, trocarem dados e operarem conjuntamente, de maneira integrada, geralmente viabilizados por formatos ou protocolos padronizados, aumentando a compatibilidade e a eficiência do todo. Os métodos mais comuns utilizados são API's, *link* direto e indireto usando *add-ons*, que possuem caráter proprietários por sua aplicação comercial (SINGH *et al.*, 2024).

Para Andrade e Ruschel (2009) “a interoperabilidade é uma condição para o desenvolvimento de uma prática integrada”. Se um sistema de comunicação entre *softwares* não possuir uma base interoperável sólida, a colaboração e cooperação entre os profissionais envolvidos serão, a depender da quantidade de informações do modelo, impraticáveis (ALVES, 2018). Os principais benefícios da interoperabilidade BIM são:

- a) Evitar retrabalho ao importar/exportar dados já inseridos ou modelados;
- b) Dispensa do uso de documentação física ou vários arquivos separados para troca de informação;
- c) Possibilita o trabalho em equipe num mesmo modelo central, evitando o acúmulo de vários arquivos para um mesmo projeto, o que melhora a precisão e diminui a possibilidade de incompatibilidades muitas vezes percebidas somente na fase de execução;
- d) Aumenta a rapidez e a eficiência;

e) Permite o monitoramento do empreendimento durante todo seu ciclo de vida.

O principal obstáculo para o pleno uso da interoperabilidade em *softwares* BIM é a falta de maturidade das ferramentas que usam a tecnologia (ALVES, 2018). A troca completa de informações entre *softwares* pertencentes a uma mesma organização é relativamente completa, mas ainda falha em alguns casos. Quando essa troca passa a ser entre *softwares* de organizações diferentes, que possuem estruturas internas de dados diferentes, com estruturas de codificações das informações incompatíveis, a interoperabilidade ainda é pouco percebida.

### 2.1.5. IFC

A falta de uma linguagem comum resulta na reintrodução de dados, na interação limitada, na dificuldade de comunicação entre *softwares*, e no uso ineficaz das tecnologias da informação. O formato não proprietário mais comumente utilizado e difundido entre as ferramentas BIM, na tentativa de minimizar essas deficiências, é o IFC (*Industry Foundation Classes*) (DLUBAL, 2021).

O *OpenBIM*, uma abordagem comum de troca de informações, fundamenta-se em formatos de intercâmbio abertos e independentes de fabricantes. Entre seus principais exemplos estão o IFC e o BCF (*BIM Collaboration Format*) (JIANG *et al.*, 2019). O IFC, em particular, é um esquema de dados que atua como uma interface neutra, permitindo que diferentes *softwares* criem e interpretem dados BIM, possibilitando a comunicação entre *softwares* destinados a elaboração de projetos de diferentes áreas, tais como arquitetura e engenharia estrutural (DLUBAL, 2021). O BCF, por sua vez, é um formato de comunicação aberto complementar ao IFC. Ele permite que alterações e ajustes no modelo sejam documentados e visualizados por todos que compõem o grupo de trabalho (BORRMANN *et al.* 2015).

Um modelo é rico em informações. O gerenciamento desses dados associados a um projeto, contempla todas as fases de uma construção, durante todo seu ciclo de vida. Para facilitar a coordenação dessas informações que abrangem múltiplas disciplinas, cada uma podendo utilizar ferramentas BIM específicas, é necessário um formato/estrutura de dados comum, que possibilite a troca de informações, sem perda de semântica (BRADLEY *et al.*, 2016).

Para manter coesa a filosofia que rege o uso do BIM, é imprescindível a utilização de um formato de dados neutro, de forma que todos os entes envolvidos nas etapas de elaboração do projeto possam ter livre acesso às documentações que o compõem. O formato de dados .ifc

busca tornar esse compartilhamento mútuo possível, independente do *software* de trabalho, se tornando o padrão mais difundido e aceito (MARKIČ, 2017).

Para Bradley *et al.* (2016), o IFC é um formato de dados comum e aberto que possibilita a troca de informações entre diferentes disciplinas de projeto. Esse formato oferece uma definição precisa e confiável dos elementos do ativo, bem como de seus relacionamentos, propriedades e informações descritivas associadas.

O IFC é desenvolvido e mantido pela *BuildingSMART*, anteriormente denominada *International Alliance for Interoperability* (IAI), uma organização internacional que tem o objetivo de impulsionar os setores de infraestruturas e edifícios por meio do desenvolvimento de padrões e soluções abertas e internacionais de projetos. O IFC é registrado como um padrão internacional pela ISO 16739 (2023).

Segundo Jeong *et al.* (2009), o IFC é uma estrutura rica em codificações para representar inúmeras informações de processos construtivos e materiais, nas diferentes fases dos projetos que compõe a documentação de fabricação, construção e operações de um edifício. Ao tentar abordar uma cobertura muito ampla de dados, apresenta algumas limitações. Embora as informações geométricas dos edifícios sejam claramente definidas pelas classes IFC, algumas formas mais complexas e informações específicas de cada disciplina são muitas vezes transferidas incorretamente.

O IFC define vários conjuntos de propriedades. Porém, é preciso alimentar o modelo de forma compatível com a definição correta de parâmetros e entidades. A grande disparidade entre a representação do modelo e suas informações inseridas no IFC, associado às diversas maneiras de se modelar um mesmo elemento, evidenciam a necessidade de padrões BIM que definam e impõem a devida caracterização em IFC, ou seja, quais padrões devem ser usados para determinados elementos de construção e como eles devem se relacionar com cada domínio de projeto (JEONG *et al.*, 2009).

Outra lacuna do IFC está ligada a forma com que a modelagem é produzida. Para Jeong *et al.* (2009), os *softwares* de arquitetura podem gerar dados IFC usando entidades distintas para representar um mesmo elemento geométrico. Isso acontece por dois motivos:

- Os arquitetos modelam os elementos dos edifícios sem uma padronização. Por exemplo, uma parede de fachada pode ser modelada como ‘parede’, ‘parede cortina’ ou até mesmo como um elemento genérico. Além disso pode ser feita através de um objeto homogêneo ou em

camadas de acordo com os materiais. Assim, as informações desse modelo são armazenadas de acordo com a forma com que ele é concebido;

- Os tradutores mapeiam elementos de construção para diferentes entidades IFC, utilizando diferentes representações geométricas, o que pode implicar em erro de atribuição semântica.

Além do exposto, o IFC ainda não cobre completamente a variedade de elementos de construção. É preciso estabelecer um padrão mutuamente acordado que concilie a modelagem e o armazenamento de suas informações para todos esses elementos (JEONG *et al.*, 2009). Fazer esse apanhado de etapas e processos construtivos, com seus respectivos materiais e elementos para codificá-los é uma tarefa complexa, tendo em vista sua infinidade e os avanços cada vez mais recorrentes.

As diferentes versões do IFC se concentram principalmente em projetos de obras verticais, como as edificações. Novas versões, no intuito de ampliar a utilização desta tecnologia, buscam fornecer extensões de modo a tornar possível a descrição de obras de infraestruturas, como pontes, estradas e túneis (PLATTEAU *et al.*, 2020).

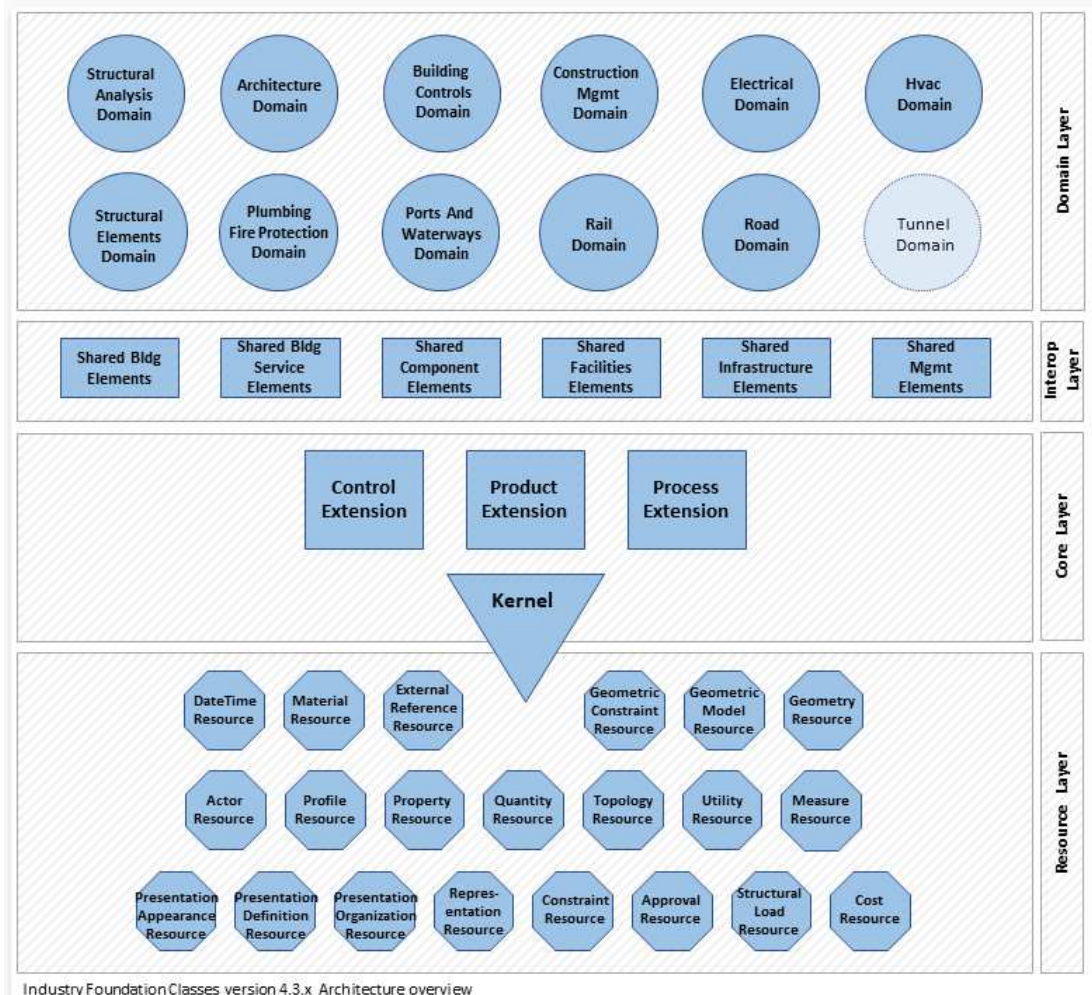
Como forma de introduzir os padrões de infraestrutura ao IFC, as novas atualizações trazem parâmetros e entidades que suportam geometrias de pontes e estradas, atribuindo semântica aos elementos e considerando o alinhamento da via. A mais recente atualização é a versão 4.3.2.0, nomeado IFC 4x3 ADD2 (*BuildingSMART*, 2024a), que fornece suporte para estruturas lineares, através da inserção da entidade *IfcAlignment* (MARKIČ, 2017), que possibilitou descrever e modelar alinhamentos rodoviários e ferroviários, e também serviu como base para as novas entidades, como *IfcRoad*, *IfcRail*, *IfcBridge* e *IfcTunnel* (AMANN; BORMANN, 2015).

A ótica por trás do lançamento do IFC4x1 se pauta na “qualidade acima da velocidade” de modo a se obter um padrão ISO completo, norma que regulamenta o uso do IFC como ferramenta interoperável à nível internacional (PLATTEAU *et al.*, 2020). Desde a introdução do IFC4x1 em 2018, a modelagem de pontes é semanticamente suportada e seus elementos são entendidos como elementos de pontes e não como elementos de edifícios aplicados ao modelo de ponte. Em 2020 foi lançada a versão IFC 4x3 (PLATTEAU *et al.*, 2020).

O IFC4x3 descreve 870 entidades, 430 tipos, 750 conjuntos de propriedades e quantidades e cerca de 2500 propriedades, funções e regras. Existem ainda, 340 enumerações de

propriedades que podem ser atribuídas ao modelo (Kraus, 2023 *apud BuildingSMART* 2022). A estrutura deste formato é mostrada na Figura 10.

Figura 10: Estrutura geral do IFC4x3



FONTE: BuildingSMART Internatinal (2025a)

Segundo a Antunes *et al.* (2024), na Figura 10 representam-se as quatro camadas principais na organização do IFC: Recursos, núcleo, interoperabilidade e domínio. O nível mais baixo contempla a camada de recursos, onde estão inseridos todos os esquemas individuais que contém definições gerais. Essas informações incluem a tipologia, geometria ou material de um objeto (KRAUS, 2023).

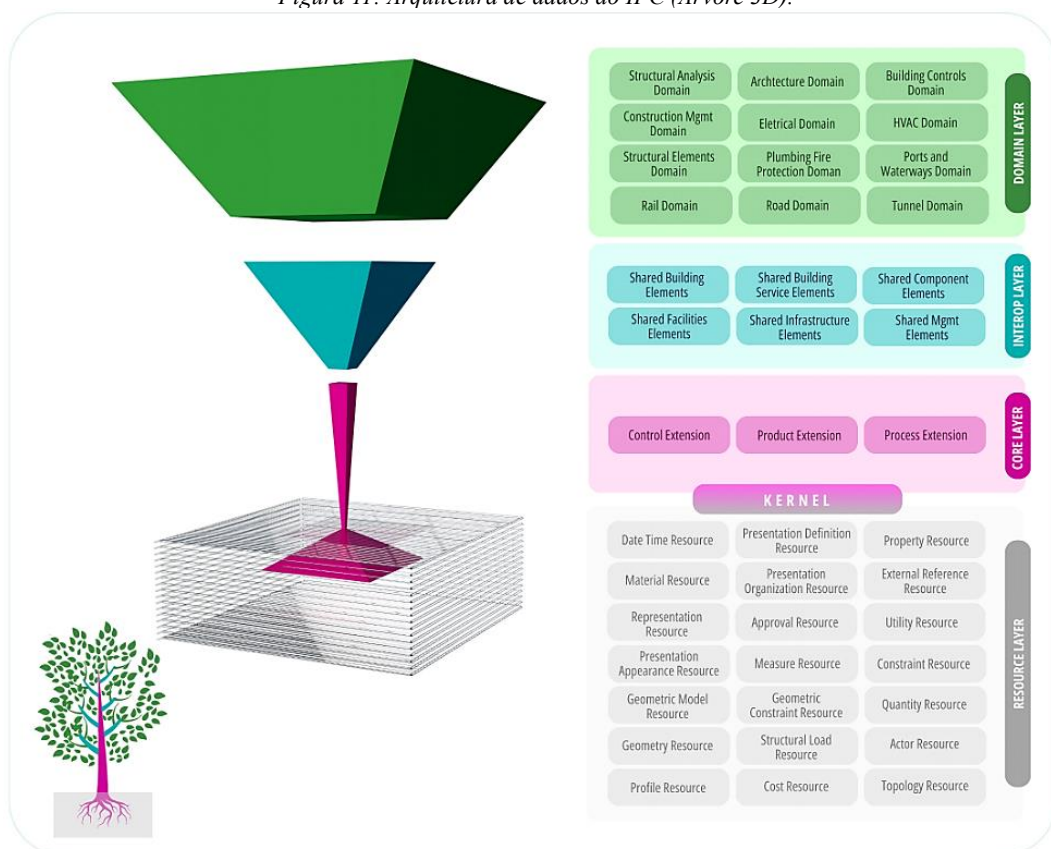
Em seguida, vem a camada de núcleo, que contém os esquemas de núcleo e de extensão de núcleo. Nela estão definidas entidades mais comuns que necessariamente devem ter um identificador global único (atributo *IfcRoot*) e, de forma opcional, o histórico de desenvolvimento do modelo (BuildingSMART, 2025b).

Mais acima, está a camada de interoperabilidade, que abrange definições de entidades específicas de um produto geral, um processo ou uma especialização de um elemento que está presente em várias disciplinas, ou seja, que serão compartilhados de forma colaborativa entre os agentes envolvidos no desenvolvimento do modelo principal (*BuildingSMART, 2025b*). É nesse nível que se atribui semântica ao objeto modelado através de parâmetros como *IfcBeam* (designação de elementos estruturais horizontais, como vigas), *IfcWall* (designação de alvenarias), *IfcColumn* (designação elementos estruturais verticais, como pilares).

O nível mais alto contempla a camada de domínio. Nela estão as definições de entidades, que também são importantes para o intercâmbio de informações entre diferentes áreas pois armazenam informações específicas do objeto, como por exemplo, as propriedades do material atribuído a ele (*BuildingSMART, 2025b*).

Antunes *et al.* (2024) propuseram uma organização mais intuitiva das camadas do IFC, tomando como principal referência a estrutura de uma árvore. A Figura 11 traz o resultado da arquitetura de dados IFC proposta pelos autores.

Figura 11: Arquitetura de dados do IFC (Árvore 3D).



Fonte: Antunes *et al.* (2024)

É possível entender a arquitetura de dados do IFC fazendo uma analogia com uma árvore natural. Na camada mais profunda, tem-se o *IfcRoot*, que corresponde a raiz da árvore, conectando-a ao solo, que fornece os recursos necessários ao seu desenvolvimento. O tronco simboliza as entidades da camada de núcleo, que permite a comunicação entre a raiz e a estrutura superior, distribuindo os nutrientes aos galhos, representando as entidades da camada interoperabilidade, que, por sua vez, os repassam às folhas ou frutos, que fazem menção às entidades da camada de domínio (ANTUNES *et al.*, 2024).

A versão IFC 4x3 ainda não é amplamente implementada em tradutores de *softwares* BIM. Para Xu *et al.* (2022) a razão disso está associada às diferenças nos métodos atribuídos a cada *softwares* para criação de uma geometria paramétrica. Estes autores ainda dizem que a essa variedade metodológica utilizada por cada plataforma está intimamente ligada à sua capacidade de importar arquivos IFC, o que leva a uma falha na leitura e representação de geometrias de outros *softwares* BIM.

## 2.2. PROJETO DE PONTES

### 2.2.1. Definições e Concepção

Segundo Debs e Takeya (2007) “Ponte é uma construção destinada a estabelecer a continuidade de uma via de qualquer natureza”. Quando o obstáculo é uma via ou vale, dá-se o nome de viaduto. Ainda pode haver casos de galerias que podem ser consideradas pontes, a depender do vão que vencem em relação às suas dimensões.

Ao longo da história, as abordagens para superar diversos obstáculos têm progredido em direção a maior segurança, durabilidade e inovação. As soluções iniciais, que frequentemente envolviam métodos simples, como troncos, evoluíram ao longo das eras romanas e medievais para se tornarem robustas pontes de pedra, muitas vezes empregando a forma do arco abobadado. Nos tempos modernos, essas soluções foram ainda mais aprimoradas, incluindo o uso de concreto armado, pré-moldado, protendido além de estruturas metálicas (COSTA, 2009).

Ainda segundo Debs e Takeya (2007) existem algumas particularidades no desenvolver de um projeto de pontes quando comparado ao projeto de um edifício usual, são estas:

- a) Ações: Em pontes deve se considerar o efeito dinâmico pela ação das cargas móveis de veículo, multidão e pedestres, que gera uma envoltória de esforços, ora sendo máximo (positivo), ora sendo mínimo (negativo), o que acarreta fadiga no material;

- b) Processo construtivo: Em alguns casos, devido ao difícil acesso ao local de construção e das adversidades ambientais, além da grande dimensão da obra, as cargas oriundas do processo construtivo podem se sobressair às demais;
- c) Composição estrutural: As pontes são consideradas construções horizontais, diferente dos edifícios que são considerados construções verticais, assim, o processo construtivo, a dimensão dos vãos e a combinação de esforços são distintos nos dois casos.

Segundo a AASHTO LRFD (2017), as pontes devem ser concebidas com base em critérios de estados limites específicos, visando alcançar critérios de construtibilidade, segurança e utilidade, ao mesmo tempo aspectos relacionados à inspeção, eficiência econômica e estética.

As pontes assumem grande importância na evolução da engenharia civil, pois requerem cada vez mais tecnologias inovadoras e criativas para superar os desafios colocados pelas condições climáticas, arquitetônicas, geológicas e logísticas, entre outras. Estão, ainda, diretamente relacionados com o nível de desenvolvimento urbano e são economicamente indispensáveis para o transporte de pessoas e mercadorias, que move a economia de um país ou região (CAVALCANTE, 2019).

No que tange à organização do cálculo estrutural de pontes é usualmente aplicável a divisão de acordo com a tipificação estrutural, que compreende a superestrutura (laje, longarinas e transversinas), mesoestrutura (aparelho de apoio, pilares e travessas) e infraestrutura (fundação e encontro) (PFEIL, 1979).

O projeto de uma ponte tem início pela finalidade a qual será concebida, podendo ser uma ponte rodoviária, ferroviária, urbana, marítima, entre outros. Com base em sua utilização serão definidos os elementos que a compõem e levantadas as cargas às quais deverá suportar (PFEIL, 1979).

### **2.2.2. Levantamento de Ações**

O levantamento de ações é pautado nas exigências das normas específicas, como a ABNT NBR 7187 (2021), ABNT NBR 6123 (1988), ABNT NBR 7188 (2013) e, se tratando de uma ponte em concreto armado, a ABNT NBR 6118 (2023).

#### **2.2.2.1. Ações Permanentes**

Segundo a ABNT NBR 7187 (2021) as ações permanentes são aquelas cuja intensidade é tida como constante ao longo da vida útil da construção. Também são consideradas permanentes

as que crescem no tempo, tendendo a um valor limite constante. As ações permanentes compreendem, entre outras:

- a) Cargas provenientes do peso próprio dos elementos estruturais;
- b) Cargas provenientes do peso da pavimentação, dos trilhos, dormentes e lastros no caso de pontes ferroviárias, dos revestimentos, das barreiras (defensas), dos guarda-rodas, dos guarda-corpos e de dispositivos de sinalização;
- c) Empuxos de terra e de líquidos;
- d) Forças de protensão, no caso de pontes em concreto protendido;
- e) Deformações impostas, provocadas por fluência e retração do concreto, por variações de temperatura e por deslocamentos dos apoios.

#### **2.2.2.2. Ações Variáveis**

Segundo a ABNT NBR 7187 (2021), as ações variáveis são definidas como sendo de caráter transitório. São estas:

- a) Cargas móveis;
- b) Cargas de construção, definidas de acordo com as fases construtivas;
- c) Cargas de vento;
- d) Empuxo de terra provocado por cargas móveis;
- e) Pressão da água em movimento;
- f) Efeito dinâmico do movimento das águas;
- g) Variações de temperatura.

### **2.3. BIM NOS PROJETOS DE INFRAESTRUTURA PÚBLICA**

O uso do BIM já é prática recorrente em diversos países, principalmente em projetos de edificações e construções verticais. Profissionais especialistas em infraestruturas têm procurado implementar essa metodologia e suas ferramentas com o intuito de também explorar suas potencialidades (CORRÊA *et al.*, 2019).

O estudo de Corrêa et al. (2019) mostra iniciativas nacionais e internacionais no âmbito de obras de infraestruturas públicas onde utilizou-se BIM como tecnologia na elaboração dos projetos. Ele traz como destaque o Comitê Gestor de Estratégia Nacional BIM (CG – BIM), que tem como foco traçar estratégias de disseminação do BIM, e a Comissão de Estudo Especial em Modelagem da Informação da Construção (CEE-134), criada pela ABNT, que é responsável pelo desenvolvimento da ABNT NBR 15965 (2022), que tem como objetivo fundamental

regulamentar o uso do BIM a âmbito nacional. A CEE-134 engloba entidades públicas como o DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) e a INFRAERO (Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária).

Corrêa et al (2019) cita os Estados Unidos, Noruega, Espanha e Chile como países que estabeleceram o uso do BIM como mandatório em contratos estatais. Recentemente no Brasil, essa prática começou a ser utilizada por alguns órgãos públicos, como é o caso do DNIT.

No caso de projetos de infraestrutura, entregáveis como a própria modelagem podem ser difíceis de se obter devido às limitações de *softwares* que ainda não contemplam totalmente elementos específicos. A modelagem de rodovias, por exemplo, envolve diferentes tipos de elementos construtivos. Em comparação aos projetos de construções verticais, é evidente a falta de avanços de parametrização e troca de informação quando se trata de projetos de infraestrutura, especialmente no que diz respeito às geometrias complexas relacionadas a sistemas de transporte (projeto geométrico de estradas, pontes, viadutos, perfis de terreno, elevações etc.). Ainda deve-se considerar a exequibilidade de simulações e análises através dos modelos BIM, como dimensionamento de pavimentos e estudo de tráfego, que ainda são pouco ofertados pelo mercado (CORRÊA *et al.*, 2019).

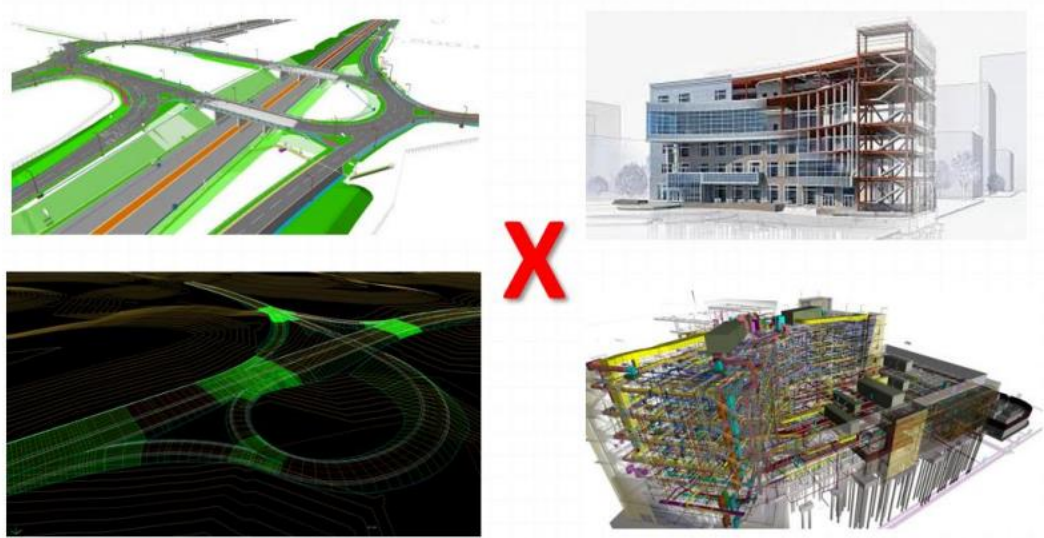
Projetos de infraestrutura geralmente são empreendimentos de grandes dimensões, que envolvem um alto investimento. Assim, torna-se ainda mais importante integrar todas as informações e análises de dados de modo a obter como resultados projeto, construção e operação mais eficiente possível destas estruturas complexas (CHENG; LU; DENG, 2016).

Segundo Cheng, Lu e Deng (2016) o IFC, na época do desenvolvimento do estudo, se concentrava em projetos de construções de edificações usuais. Assim, para a elaboração de modelos de infraestrutura, eram utilizadas representações paramétricas de elementos estruturais convencionais. Essa prática cria muitos problemas uma vez que existem diferentes terminologias e parâmetros de cálculo a depender do tipo de empreendimento a ser executado. Outro ponto é a troca de informações, que muitas vezes vão, de forma errônea, comprometendo outras disciplinas que dependem da modelagem, como a análise estrutural. Ainda em 2025, essas lacunas do IFC são percebidas.

Para Bradley *et al.* (2016), a desvantagem do IFC está ligada ao não reconhecimento e à não transferência de elementos específicos de obras de infraestrutura, o que leva a perda de semântica desses elementos ou até mesmo à um reconhecimento errado, atribuindo a esse

elemento características que não são dele. Recentes atualizações do IFC, como o IFC4x3, já conseguem ler e identificar elementos de pontes, porém ainda necessita de melhorias e maior aplicabilidade. A Figura 12 exemplifica a diferença entre projetos de edificações e de infraestrutura rodoviária.

Figura 12: Comparação entre modelos BIM de infraestrutura e de edificações (CORRÊA et al., 2019).



FONTE: Corrêa et al. (2019)

## 2.4. PROJETO DE PONTES EM BIM

Décadas atrás, obras de infraestrutura, especialmente de pontes rodoviárias sujeitavam-se a limitações tecnológicas. Com os avanços nesta área, acrescido do emprego de sistemas construtivos mais eficientes e soluções mais arrojadas, além da utilização de novos tipos de materiais, mais resistentes e duráveis, começam a surgir obras de artes de dimensões e arquitetura extraordinárias, trazendo desafios ainda maiores aos engenheiros estruturais (ELLER, 2011).

O conhecimento acerca do projeto de pontes rodoviárias cresceu continuamente desde a década de 1930. Teoria e prática evoluíram consideravelmente, refletindo em avanços na compreensão de pontes como um todo. Percebe-se um avanço nos materiais empregados em sua construção, nas análises cada vez mais racionais e precisas do comportamento estrutural em concomitante aos avanços tecnológicos, estudos cada vez mais sofisticados de agentes externos como eventos sísmicos, erosão, análise dos ventos dominantes, entre outros (AASHTO LRFD, 2017).

De maneira geral, os *softwares* disponíveis e majoritariamente utilizados nos escritórios de engenharia estrutural ainda são pautados na metodologia CAD 2D, apresentando pouca ou

nenhuma interoperabilidade, tanto ao importar quanto ao exportar arquivos. Quando utilizados, as peças detalhadas originadas do modelo de análise não são feitas no mesmo *software*. Assim, não possuem interligação com o modelo de dimensionamento, e qualquer alteração feita neste não será transferida de forma automática aos detalhes que se destinarão à obra (FERREIRA, 2012).

Para Mora, Bedard e Rivard (2008), *softwares* de análise e dimensionamento estrutural BIM facilitam a concepção do modelo de análise uma vez que constroem o modelo estrutural diretamente da arquitetura, desde que essas informações sejam transferidas de forma correta. Entretanto, alguns poucos *softwares* possuem capacidade de dimensionar e produzir o modelo estrutural de forma automática e os existentes são voltados para obras verticais, como edifícios.

Segundo Lino, Azenha e Lourenço (2012), para o engenheiro de estruturas, além da escolha do *software* de modelagem BIM, é de igual importância a sua habilidade de estabelecer uma comunicação eficaz com o *software* estrutural utilizado, de forma a garantir a máxima transparência no processo.

Em projetos estruturais, é comum um alto número de detalhamento e quadros de quantitativos de materiais, é nesse aspecto que se encontra uma das vantagens do emprego do BIM. A criação de modelos estruturais BIM torna menores as chances de erros muitas vezes oriundos do refinamento no modelo de análise que não foi atualizado no modelo de dimensionamento, o qual serve de base para elaboração de detalhamentos e quantitativos. Além disso, os quantitativos gerados serão mais precisos, já que são gerados automaticamente e atualizados conforme o modelo (ALVES, 2018).

Segundo Nunes *et al.* (2023), existem dois cenários que destacam a importância da representação precisa das informações no arquivo IFC de um modelo BIM de uma ponte:

- a) Fase de projeto: Quando se exporta o arquivo IFC de uma ponte de um *software* de modelagem para um *software* de análise estrutural, supondo que seus provedores tenham implementado o IFC de forma adequada, as informações necessárias para a análise estrutural são interpretadas e usadas pelo *software* que importa o arquivo. No entanto, se a implementação do IFC não for feita corretamente, as informações não serão transmitidas, o que exigirá inserção manual posterior e resultará em retrabalho;

- b) Fase de operação para a avaliação da integridade estrutural: Devido ao processo natural de degradação ao qual as estruturas estão sujeitas, é necessário avaliá-las periodicamente, muitas vezes requerendo acesso a informações do projeto original. No caso de uma ponte existente, essas informações podem ser recuperadas ao abrir o arquivo IFC em um *software* BIM. Isso permite, por exemplo, verificar a resistência do concreto originalmente utilizado no projeto e compará-la com a resistência atual, facilitando a análise da perda de resistência. Se essas informações estivessem apenas em documentos impressos, correriam o risco de serem perdidas. Se estivessem apenas em arquivos nativos de *softwares*, poderiam não ser acessadas devido a incompatibilidades causadas por atualizações de *software*.

#### **2.4.1. Análise estrutural integrada**

Em um cenário ideal de fluxo BIM, os projetistas usariam o modelo de informações para geração de modelos analíticos estruturais, evitando retrabalhos. Essa prática reduziria tempo de projeto, aumentaria a precisão do modelo analítico e resultaria em uma maior coordenação entre os projetos (RAMAJI; MEMARI, 2018).

A troca interoperável de informações para análise estrutural é muito procurada e o nível de interoperabilidade não é suficientemente elevado para que, no ambiente BIM, se dê de forma precisa e eficiente. Assim, o emprego do BIM em projetos estruturais só será efetivo e benéfico se o nível de interoperabilidade entre as diferentes ferramentas evoluir (RAMAJI; MEMARI, 2018).

Ainda segundo Ramaji e Memari (2018) as ferramentas BIM ainda não são capazes de exportar modelos analíticos estruturais em formato de arquivo não proprietário. Os autores ainda trazem como exemplo o *software* Tekla, que é capaz de exportar modelos analíticos apenas para ferramentas estruturais comuns, como o SAP2000 e o STAAD. Também citam a conexão entre o Revit, que exporta o modelo analítico gerado a partir do modelo BIM, de forma direta para o *Robot Structural Analysis*, também da Autodesk. Ou seja, o fluxo ainda se dá de forma fechada entre os detentores dos *softwares*.

O que se tem como solução atual é a manipulação do IFC através de linguagens computacionais que varrem o modelo e identificam os elementos estruturais, suas vinculações, as condições de contorno e fazem um pareamento com a linguagem de programação da ferramenta de cálculo de modo a produzir um modelo analítico. Além disso, busca-se no IFC

as definições de entidades de cada elemento e seus relacionamentos de modo a interpretá-los para um modelo FEM (*Finit Element Model*) equivalente.

Zhang et al (2014) desenvolveram uma plataforma online para conversão bidirecional do modelo arquitetônico salvo em IFC para formatos de arquivos de *softwares* de modelagem estrutural proprietários. O projeto central foi o desenvolvimento de um algoritmo que mapeia no modelo arquitetônico salvo em IFC todas as informações necessárias a geração do modelo estrutural.

Em um fluxo BIM para projetos estruturais, o processo inicia-se com a conversão do modelo conceitual em um modelo BIM analítico. Colunas, vigas, paredes e lajes recebem atributos que definem suas propriedades estruturais. Esta etapa pode exigir a cooperação com o arquiteto desde as fases iniciais do projeto arquitetônico, especialmente se a estrutura exige um projeto estrutural complexo, com análises mais robustas (BIRKEMO, *et al.*, 2019).

A análise de elementos finitos integrada ao BIM apresenta alguns desafios devido a ineficiências no intercâmbio de informações partindo do modelo conceitual. Um desses desafios está no processo manual de malha/remalhagem e em informações excessivas contidas no arquivo aberto que fogem ao escopo e dificultam a leitura e interpretação dos *inputs* necessários (PARK *et al.*, 2020). Isso leva a outro ponto de melhoria no intercâmbio entre *softwares*: os MVDs (*Model View Definition*).

O MVD é um filtro de informações contidas no IFC, definido de acordo com as necessidades estabelecidas para a finalidade a qual o modelo será utilizado. Segundo a *BuildingSMART* (2024b), trata-se de um nível específico de implementação do IFC, desenvolvido com o intuito de filtrar informações em um uso específico. De acordo com a *BuildingSMART* (2024b), existem três MVDs básicos, que representam os níveis fundamentais de informações na exportação de arquivos em *software* BIM:

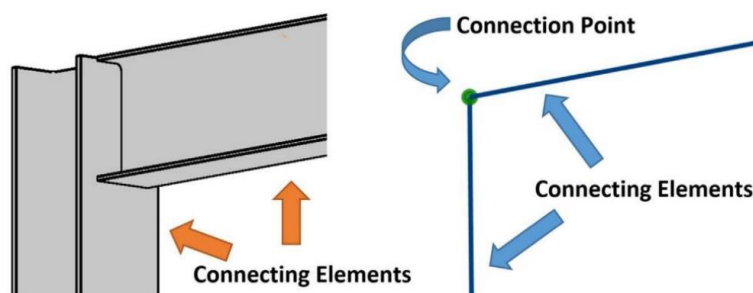
- *Coordination View*: Visão de coordenação (IFC 2x3)
- *Reference View*: Visão de referência (IFC 4 e IFC 4.3)
- *Alignment View*: Exibição de alinhamento (IFC 4.3)

Os requisitos de troca podem ser definidos em cima desses MVDs principais. Isso ampliará a interoperabilidade entre diferentes domínios. Existem MVDs específicos com uso definidos para fins de projetos arquitetônico, estrutural, infraestrutura entre outros, porém ainda em fase

de teste ou estudo, sem certificação pela *BuildingSMART* (*BuildingSMART*, 2024b). Assim, cada fornecedor de *software* pode definir um MVD específico a depender da sua aplicação, sem, no entanto, ser uma versão oficial certificada.

Um exemplo disso é o *Structural Analysis View* (SAV), uma visão de análise estrutural IFC (SONKA, 2022). Na visualização de análise estrutural, os elementos são representados como barras e planos e as informações de seção transversal, geometria e material são lidas e interpretadas para atribuição de cargas ao modelo, como mostrado na Figura 13. Essa definição de visualização utiliza uma representação topológica, traduzindo o sólido em uma representação via elementos finitos e suas conexões traduzidas em vinculações e condições de contorno (RAMAJI; MEMARI, 2018).

Figura 13: Representações diferentes de uma mesma conexão de acordo com o tipo de visualização utilizado.



Fonte: Ramaji e Memari (2018).

Apesar de ser um MVD promissor na evolução da inserção de projetos estruturais em um ambiente BIM, o *Structural Analysis View* ainda não é certificado pela *BuildingSMART*. Uma vez certificado, espera-se que, ao gerar um arquivo IFC através do SAV, as informações pertinentes a elaboração de um modelo analítico e posterior análise estrutural sejam devidamente armazenadas e lidas. A certificação é a garantia de que o MVD irá cobrir estas informações, filtrando o IFC para o emprego ao qual é destinado. Assim, ao importar o arquivo em um *software* de análise, se ocorrer erros de leitura, interpretação semântica e incoerências no modelo, deve-se verificar a estrutura interna de leitura de IFC do *software* receptor. Apesar do estudo ser relativamente antigo, atualmente os avanços relativos à biblioteca de classes IFC ainda são insuficientes para que haja uma plena interoperabilidade entres *softwares* de diferentes disciplinas. Nem todos os desenvolvedores de *software* oferecem suporte para importação ou exportação no formato IFC, devido a complexibilidade de sua implementação. (DLUBAL, 2021)

Em termos de classes IFC, na visualização de análise estrutural, todos os elementos lineares (vigas e pilares por exemplo) são representados apenas por *IfcStructuralCurveMember*,

enquanto na visualização de coordenação, cada um deles possuem classes próprias definidas, por exemplo *IfcColumn* para pilares e *IfcBeam* para vigas. Os elementos planos, como lajes e paredes, também possuem classificação única na visualização de análise estrutural, definida como *IfcStructuralSurfaceMember*, diferente da definição de classes na visualização por coordenação, que atribui *IfcSlab* para lajes e *IfcWall* para alvenarias. (RAMAJI; MEMARI, 2018)

A *Coordination View* foi projetada para especificar as informações gerais dos elementos de construção, como localização e limites do elemento, que são necessárias para fins de coordenação entre diferentes projetos. Nessa abordagem, as relações de conectividade entre diferentes elementos não são preocupantes. Portanto, nenhuma informação de conectividade é incluída no modelo gerado e não pode ser inferido quando o mesmo é carregado em outro *software*, por exemplo em alguma ferramenta de análise, onde essa informação é necessária.

Assim, quando o IFC é gerado por meio da *Coordination View*, *softwares* de cálculo estrutural não conseguem aproveitar este modelo para fins de análise e dimensionamento pois ao varrer o arquivo .ifc, não encontram nele as informações que necessitam para realização dos cálculos.

#### **2.4.2. Ferramentas BIM disponíveis**

Com o advento e o aprimoramento contínuo da tecnologia, a análise estrutural encontrou o suporte necessário para o seu desenvolvimento e otimização das metodologias de cálculo utilizadas. Com isso, é crescente também a sofisticação das técnicas construtivas e o arrojo, cada vez maior das estruturas (KHOURI, 2001).

Serra *et al.* (2022) fizeram um estudo comparando ferramentas de modelagem em BIM de três empresas distintas (Allplan, Autodesk e Bentley), com o objetivo de obter um fluxo de trabalho que integre modelação, documentação de projeto, coordenação e cálculo estrutural, em específico para obras de arte especiais.

A Allplan é uma empresa global de *softwares* de engenharia e umas das pioneiras na inserção do BIM. É subsidiada pelo do Grupo Nemetschek Company, que também é responsável pelo *software* de análise estrutural Scia Engineer. No Brasil, a empresa representante da Allplan e do grupo Nemetschek é a BIM Works Brasil, uma empresa que foca no desenvolvimento de fluxos de trabalho BIM e na comercialização de *softwares* que fazem

uso desta tecnologia. Dentre os *softwares* da Allplan, destaca-se o Allplan Bridge e o Allplan Engineering que trabalham de forma conjunta para modelagem BIM e detalhamento estrutural.

A Autodesk é a maior empresa do mercado de *softwares* voltados para a indústria AECO. Possui *softwares* já consolidados no mercado tanto em CAD quanto em BIM, como o AutoCAD e o Revit. Na área de infraestrutura possui o Civil3D, além do *software* de análise e dimensionamento estrutural Robot Structural Analysis. Como pioneira, a Autodesk vem atualizando seus produtos de forma acelerada de modo a se manter como referência também em relação a implementação do BIM, assim como é no CAD.

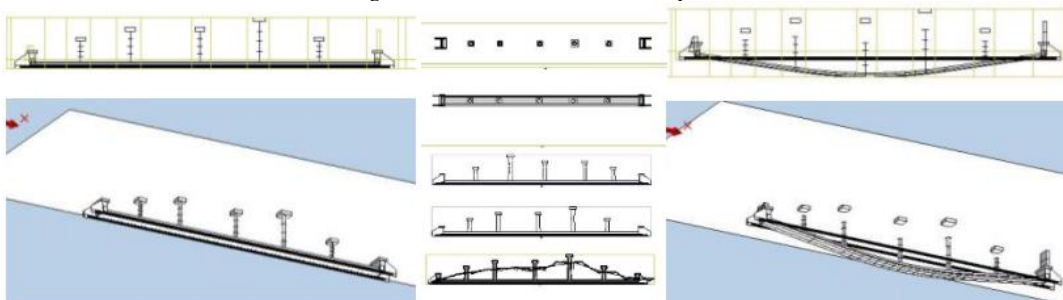
A Bentley também é uma desenvolvedora de *softwares* para a construção civil com foco em infraestrutura. É responsável pelos *softwares* Microstation (concorrente direto do AutoCAD), o OpenBuilding Designer (concorrente direto do Revit), além do OpenBridge Designer, que subdivide suas interfaces de trabalho para o OpenBridge Modeler (OBM), voltado para a modelação paramétrica de pontes e o RM Bridge, específico para cálculo estrutural de pontes.

Para a análise do fluxo proposto por essas três empresas, Serra *et al.* (2022) propuseram alguns critérios de avaliação. São estes:

- a) Capacidade de modelar geometrias complexas de obras de arte;
- b) Qualidade da documentação de projeto (pranchas, quantitativos e detalhamentos);
- c) Integração entre os *softwares* a serem utilizados pelas diferentes disciplinas de projeto (traçado geométrico, topografia, drenagem, entre outros);
- d) Integração entre o modelo físico e o modelo analítico;
- e) Fundamentos BIM (interoperabilidade e parametrização de objetos)

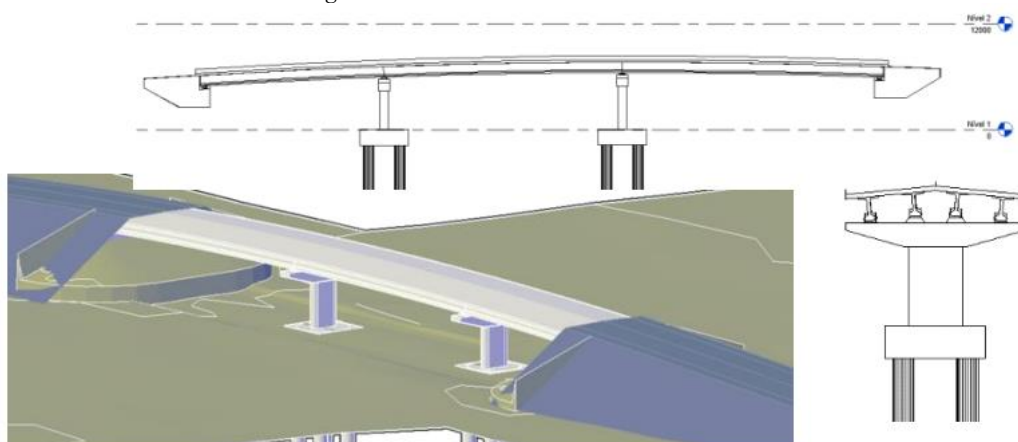
Para tal, Serra *et al.* (2022) utilizaram como projeto base uma ponte de concreto pré-moldado de três vãos, com longarinas em I pré-fabricadas, com traçado curvo tanto em planta quanto em perfil. Nas Figura 14, Figura 15 e Figura 16 apresenta-se o modelo concebido pelos autores em cada um desses *softwares*.

Figura 14: Ponte modelada no Allplan.



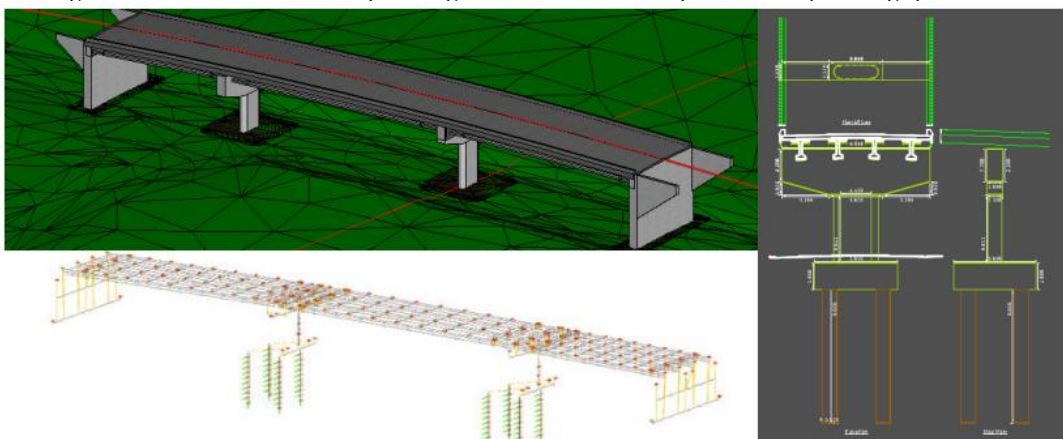
FONTE: Serra et al. (2022)

Figura 15: Ponte modelada no Civil 3D.



FONTE: Serra et al. (2022)

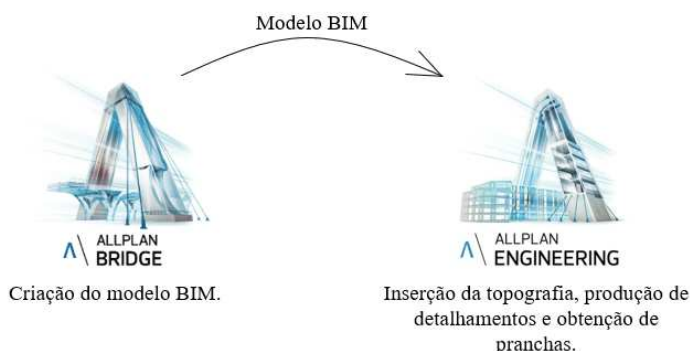
Figura 16: Ponte modelada no OpenBridge e modelo analítico exportado do OpenBridge para o RM.



FONTE: Serra et al. (2022)

Em sua pesquisa, Serra et al. (2022) propuseram um fluxo de trabalho para cada empresa, utilizando apenas ferramentas próprias. No caso da Allplan, apenas dois softwares foram utilizados, o Allplan Bridge e o Allplan Engineering. O fluxo se deu conforme mostrado na Figura 17.

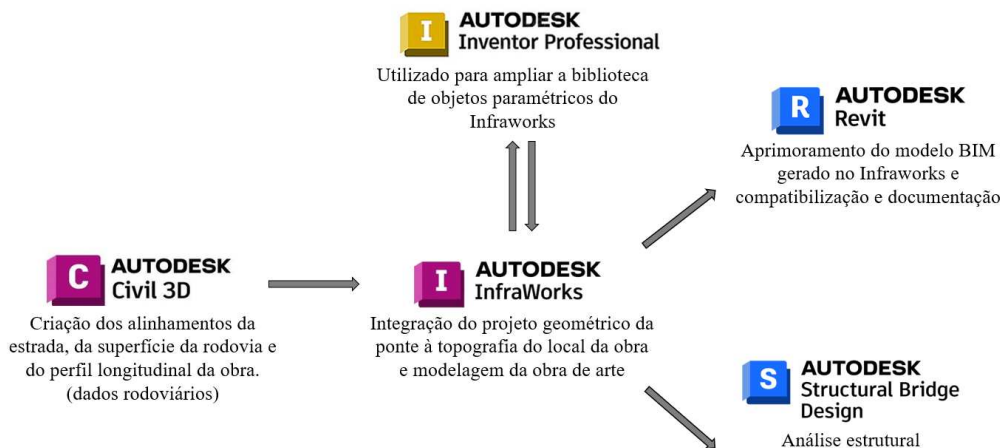
Figura 17: Fluxo de trabalho utilizando softwares da Allplan.



FONTE: Adaptado de Serra et al. (2022)

No caso da Autodesk, os autores propuseram um fluxo mais complexo devido à alta gama de *softwares* específicos que a empresa possui (Figura 18).

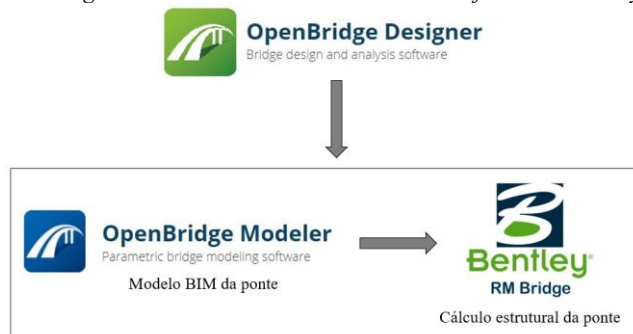
Figura 18: Fluxo de trabalho utilizando softwares da Autodesk.



FONTE: Adaptado de Serra et al. (2022)

Para o fluxo com base nos produtos oferecidos pela Bentley, os autores trabalharam com o pacote de *softwares* específico para projetos de pontes, chamado OpenBridge Designer, que contém o OpenBridge Modeler (OBM) e o RM Bridge (RM). Assim, o fluxo também se torna bastante simples, como mostra a Figura 19.

Figura 19: Fluxo de trabalho utilizando softwares a Bentley.



FONTE: Adaptado de Serra et al. (2022)

Como resultado, Serra *et al.* (2022) tiveram as constatações resumidas nas Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4.

Tabela 2: Análise do fluxo de trabalho a partir da utilização dos softwares da Allplan.

<b>ALLPLAN</b>	
<b>Allplan Bridge</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresenta interface simples, porém intuitiva, com passos sequenciais lógicos desde a definição do traçado até a aplicação de carga e criação de pré-esforço;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresenta limitações relevantes na modelação de elementos pré-fabricados de concreto armado ou de estruturas metálicas. Tais limitações possuem soluções de difícil implementação mesmo em seções mais simples;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresenta retrabalho, pois uma mesma seção, num mesmo alinhamento, necessita de uma parametrização diferente conforme sua posição na seção transversal no tabuleiro, demandando muito tempo destinado a modelagem;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dentre as vantagens observadas, pode-se citar: eficácia na modelagem de obras de artes; facilidade na utilização do <i>software</i>; elementos não estruturais são corretamente modelados e considerados no carregamento; possibilidade de definir as etapas construtivas.</li> </ul>
<b>Allplan Engineering</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possui um conjunto de ferramentas mais completo, capaz de aprimorar o detalhamento e gerar projetos executivos de forma rápida e eficiente;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possui várias ferramentas de modelagem, tanto paramétricas quanto na produção de formas livres, o que permite complementar o trabalho de modelagem feito no Allplan Bridge;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• É possível entrar com a modelagem da topografia e eventuais movimentações de terra, além de elementos de drenagem, com as informações contidas nelas;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apresenta ferramentas adequadas, com várias opções de customização que permitem aproximar os elementos obtidos por meio do modelo BIM com os detalhamentos tradicionais.</li> </ul>
<b>Integração entre os <i>softwares</i></b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O compartilhamento do modelo entre as duas plataformas se dá de forma direta pelos formatos nativos de cada um, o que é garantido por serem produtos de uma mesma empresa;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não se identificou nenhum controle para que as eventuais mudanças feitas no modelo de um dos <i>softwares</i> fossem reproduzidas no outro, nem algum aviso indicando essa mudança.</li> </ul>

FONTE: Adaptado de Serra *et al.* (2022)

Tabela 3: Análise do fluxo de trabalho a partir da utilização dos softwares da Autodesk.

<b>AUTODESK</b>	
<b>Civil 3D</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Obtém de forma correta o alinhamento, a definição das vias, o traçado geométrico e a seção transversal da ponte;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possui ligação direta com o Infracworks, com adequada capacidade de atualização entre os modelos de cada um deles numa eventual alteração e projeto.</li> </ul>
<b>Infracworks</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite integrar as informações trazidas do Civil 3D com a topografia do local da construção da ponte;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Realiza a modelagem da ponte de forma básica, objetos paramétricos pouco variados, necessitando de um outro <i>software</i> da Autodesk para a complementação (Inventor);</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possui limitações no que diz respeito a modelagem das longarinas pré-moldadas para traçados curvos, particularmente em altimetria;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possui ligação direta com o Civil 3D, e também se comunica com o Revit, exportando todos os elementos da ponte de forma integral através de um vínculo direto.</li> </ul>
<b>Revit</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Apesar da importação do modelo do Infracworks ocorrer de forma satisfatória, alguns elementos não são semanticamente reconhecidos no Revit e são importados como "<i>generic models</i>" ou como "<i>direct shapes</i>", o que pode afetar a integração destes com os novos elementos criados. Esta é uma importante constatação, dada a forma de importação direta de ferramentas de uma mesma empresa.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Possui ferramentas de modelagem mais robustas, sendo capaz de complementar a modelagem importada do Infracworks e torná-la mais rica em informações e detalhamentos;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• É possível gerar pranchas de projeto de forma simples. Todos os desenhos bidimensionais podem ser gerados a partir do modelo 3D, e podem ser editados de forma a atender os critérios técnicos de detalhamento.</li> </ul>

FONTE: Adaptado de Serra et al. (2022)

Tabela 4: Análise do fluxo de trabalho a partir da utilização dos softwares da Bentley.

<b>BENTLEY</b>	
<b>OBM e RM</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Oferece três opções para definição do traçado da via: Modelação direta no próprio <i>software</i>, importação do alinhamento através de um formato aberto como o <i>LandXML</i> ou ler o alinhamento diretamente pelo ficheiro <i>OpenRoads</i> já que possui o mesmo formato de dados do <i>OpenBridge</i>;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Serra et al (2022) utilizaram a segunda opção já que o projeto geométrico foi realizado no Civil 3D. As informações foram importadas de forma satisfatória, mesmo sendo transferidas através de um formato de arquivo não proprietário;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Como vantagem em relação as demais soluções aqui apresentadas, o <i>OpenBridge Designer</i> permite a correta adaptação da geometria de longarinas pré-fabricadas ao alinhamento da rodovia, tanto altimetricamente quanto planimetricamente;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desvantagem: detectou-se que a viga é sempre extrudada na projeção vertical do alinhamento e não na projeção longitudinal;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não possui ferramenta nativa para modelagem de pré-lajes;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O aparelho de apoio só pode ser inserido abaixo das longarinas;</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Não há formas expeditas de se modelar lajes de transição.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A interação entre o OBM e o RM apresenta elevado potencial, permitindo obter automaticamente um modelo de elementos finitos através do modelo BIM, inclusive com informações geométricas.</li> <li>• Foi a solução que melhor resolveu o impasse da modelagem de pontes pré-moldadas com traçado curvo, permitindo aprofundamento no estudo e a detecção de novos pontos a serem melhorados.</li> </ul>

FONTE: Adaptado de Serra et al. (2022)

Este estudo desenvolvido por Serra *et al.* (2022) foi um importante ponto de partida das análises posteriormente apresentadas no presente trabalho e agente decisivo na escolha dos *softwares* analisados. Uma vez que os autores propuseram a análise de fluxos de projetos pautados em troca de informações majoritariamente feita através de formatos de arquivo nativos, sugeridos pelas empresas citadas para seus próprios *softwares*.

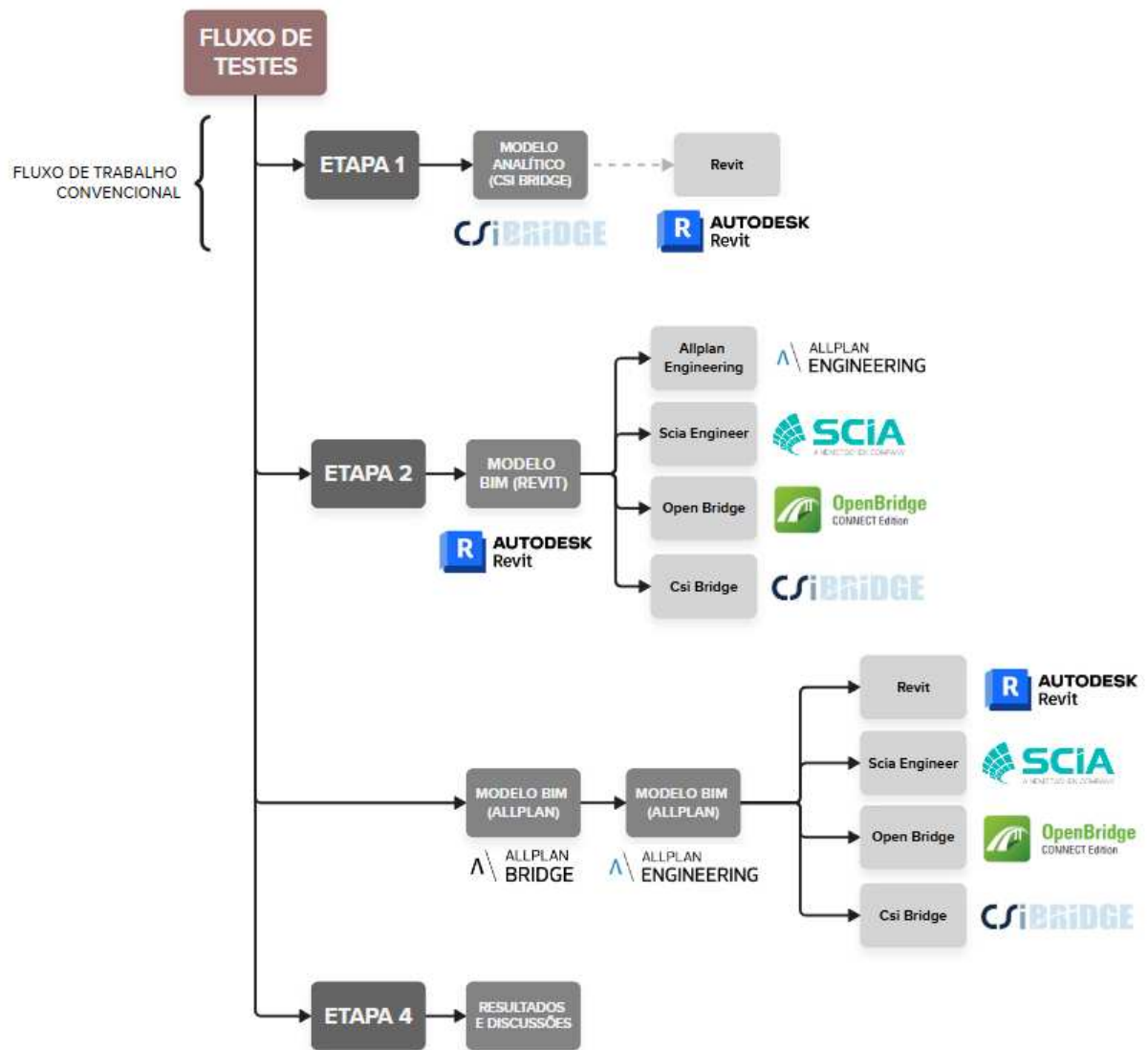
Propõe-se estudar o comportamento destes *softwares*, desta vez, em um fluxo pautado na troca de informações através de formatos abertos e não proprietários, mostrando como um arquivo IFC gerado a partir da visualização de coordenação de um modelo de ponte produzido no Revit é lido e interpretado por *softwares* específicos de análise e dimensionamento.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. ORGANIZAÇÃO

Para o desenvolvimento do estudo propõe-se o fluxo de trabalho apresentado na Figura 20, de acordo com as ferramentas disponíveis no mercado.

Figura 20: Etapas de desenvolvimento do projeto.

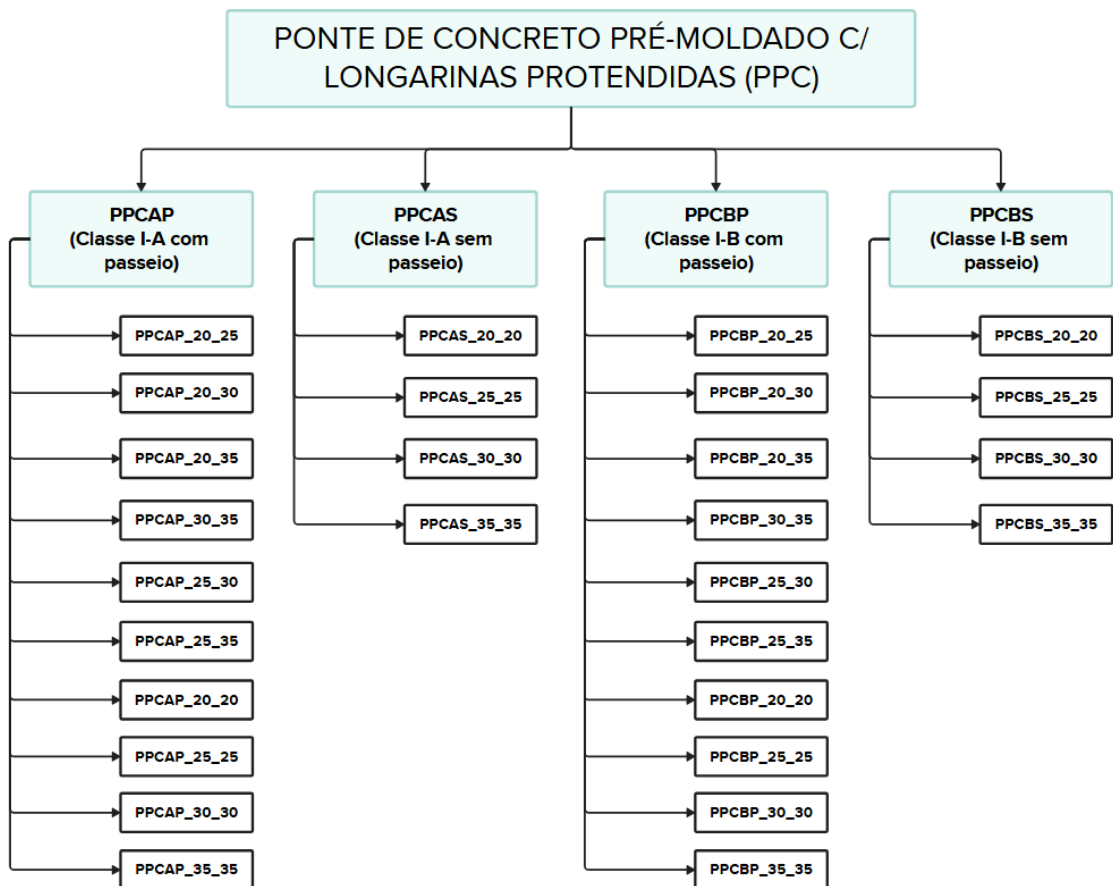


FONTE: O autor.

### 3.2. ETAPA 1

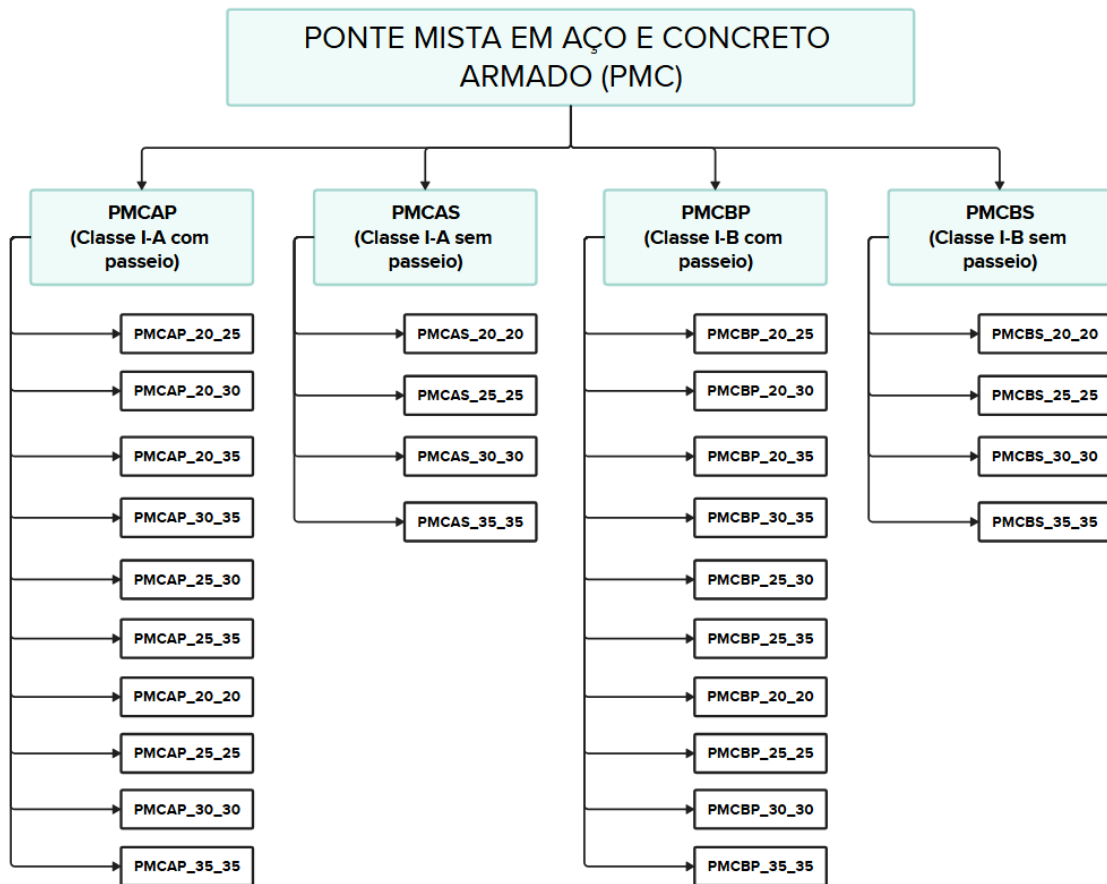
Nesta etapa, experienciou-se o fluxo de projetos convencional, através do desenvolvimento de projetos de pontes pré-moldadas com longarinas protendidas e pontes mistas em aço e concreto armado. Esse trabalho é fruto de uma parceria entre o DEC – UFV (Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa) e o DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) no qual se desenvolve, entre outras coisas, o novo catálogo de pontes do DNIT, que contém 56 tipologias de distintas (28 tipologias de pontes pré-moldadas com longarinas protendidas e 28 tipologias de pontes mistas em aço e concreto armado, como mostrado nas Figura 21 e Figura 22.

Figura 21: Nomenclatura definida para organização e definição das pontes pré-moldadas com longarinas protendidas.



FONTE: O autor.

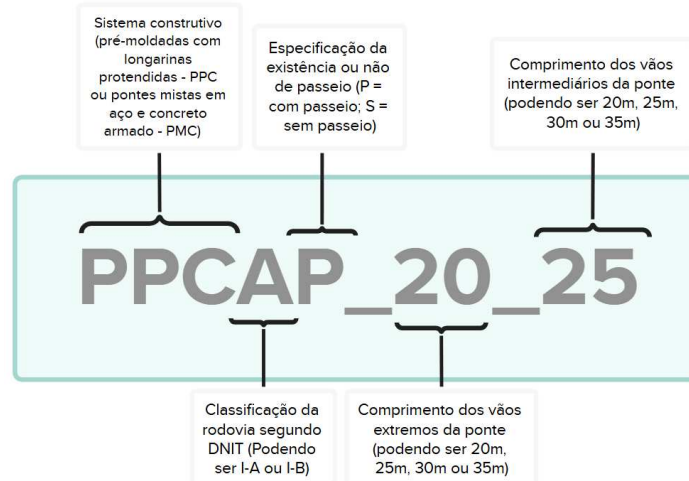
Figura 22: Nomenclatura definida para organização e definição das pontes mistas em aço e concreto armado.



FONTE: O autor.

Para organizar as documentações referentes a cada ponte, definiu-se um código de nomeação dos arquivos, que especifica o sistema construtivo adotado, a classificação da rodovia, a adoção ou não de passeios e o comprimento dos vãos extremos e intermediários. A Figura 23 mostra como se deu esta definição.

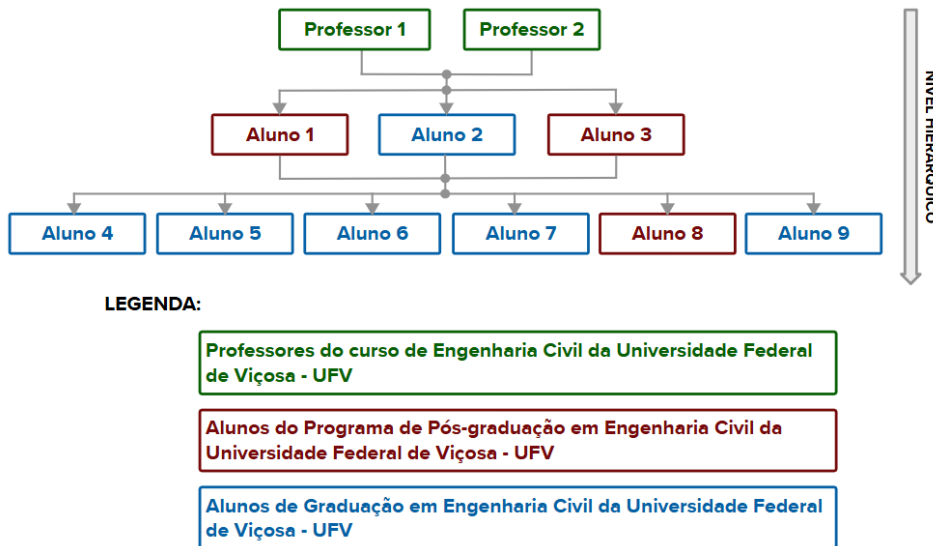
Figura 23: Código de nomeação das pontes e demais arquivos referentes a cada uma delas.



Fonte: O autor.

Ao longo do desenvolvimento dos projetos, várias frentes de trabalho foram definidas de acordo com a experiência dos membros da equipe. O grupo de trabalho, composto por professores, alunos de graduação e pós-graduação, atualmente possui 11 integrantes, organizados conforme apresentado na Figura 24.

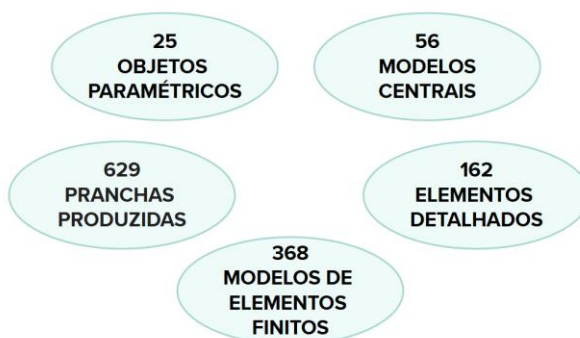
Figura 24: Grupo de trabalho atuante no desenvolvimento do catálogo de pontes.



Fonte: O autor.

Os números de produtos específicos criados são expressivos e dão uma dimensão do desafio enfrentado. Na Figura 25, são mostrados alguns desses produtos, como o número de objetos paramétricos criados, modelos centrais, pranchas entregues ao final do trabalho, a quantidade de modelos analíticos via MEF e o total de elementos estruturais detalhados.

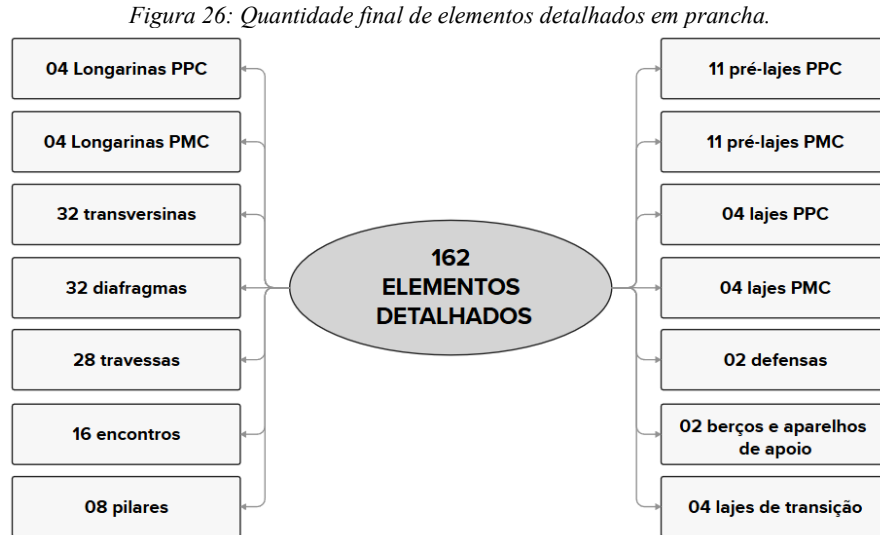
Figura 25: Produtos desenvolvidos ao longo da produção do catálogo.



Fonte: O autor.

Para otimização do processo e padronização, foi feito um estudo prévio dos elementos estruturais comuns em algumas ou todas as pontes. A partir da compatibilização feita na etapa de dimensionamento, chegou-se ao número total de 162 peças estruturais detalhadas em prancha. Além disso, a mesma mesoestrutura usada nas pontes pré-moldadas com longarinas protendidas foi utilizada nas pontes mistas em aço e concreto armado. Apesar de um único

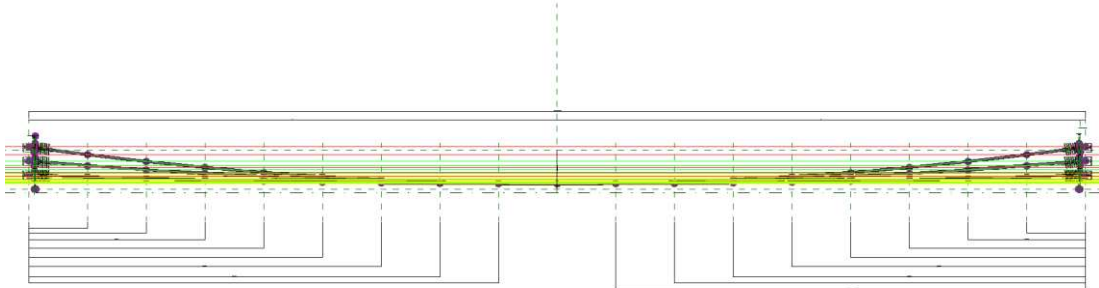
detalhamento servir para várias pontes, todas elas foram modeladas integralmente, contendo todos os elementos estruturais, com armaduras e ligações conforme dimensionamento. Na Figura 26 é mostrada a quantidade final de cada elemento detalhado em prancha.



Fonte: O autor.

Para a produção do catálogo, propôs-se uma metodologia que tem como principal característica a parametrização, com a criação de objetos paramétricos de cada elemento da ponte, carregados com parâmetros pertinentes à otimização do fluxo de trabalho. Como exemplo, na Figura 27, mostra-se o desenvolvimento do cabo de protensão parametrizado no Revit 2024, possibilitando várias especificações de cabos a partir de um único modelo, minimizando o tempo de trabalho.

Figura 27: Família paramétrica desenvolvida para modelagem dos cabos de protensão de cada ponte.



FONTE: O autor.

Para a criação dos objetos, utilizou-se o *software* de modelagem Autodesk Revit 2024, que possui objetos paramétricos próprios, chamados de “famílias paramétricas” e permite a criação de novas famílias conforme necessidade.

Esse foi um importante passo para a inserção do BIM na elaboração de projetos desta natureza, possibilitando que elementos que possuem dimensões distintas, a depender das demandas de projeto, sejam modelados uma única vez, e posteriormente ajustados.

Foram criados ao todo 25 objetos paramétricos, organizados numa pasta específica do projeto, como mostrado na Figura 28. Na nomenclatura, definiu-se as siglas “SE” e “ME” antes do nome do objeto: Superestrutura e Mesoestrutura, correspondente à etapa construtiva em que será inserida a família do elemento estrutural.

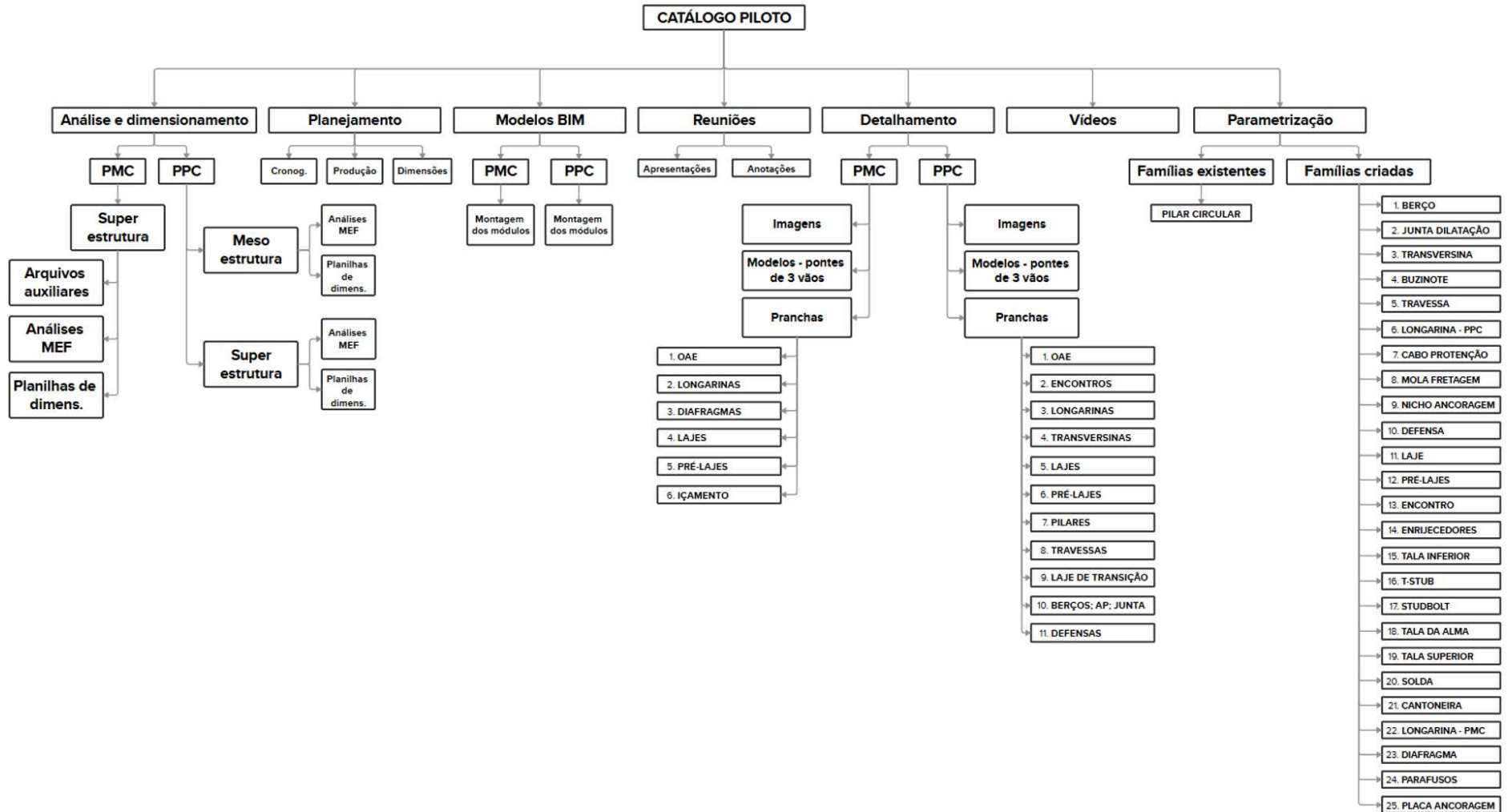
Figura 28: Organização das famílias paramétricas criadas no Revit 2024.



Fonte: O autor.

Tendo em vista a quantidade de arquivos e informações, é necessário um trabalho de coordenação, gestão e organização dessas informações. Todos os arquivos foram armazenados em uma pasta na nuvem. Foi utilizada a plataforma Google Drive, a qual a UFV tem amplo acesso. Para organizar todas as informações, o Drive foi organizado em subpastas de acordo com cada frente de serviço. Além disso, existem pastas de organização e gestão dos trabalhos, de reuniões quinzenais de acompanhamento e de vídeos de treinamento para novos membros da equipe. Na Figura 29 é mostrado o esquema de pastas utilizado.

Figura 29: Organização do drive destinado aos arquivos provenientes do catálogo.



Fonte: O autor.

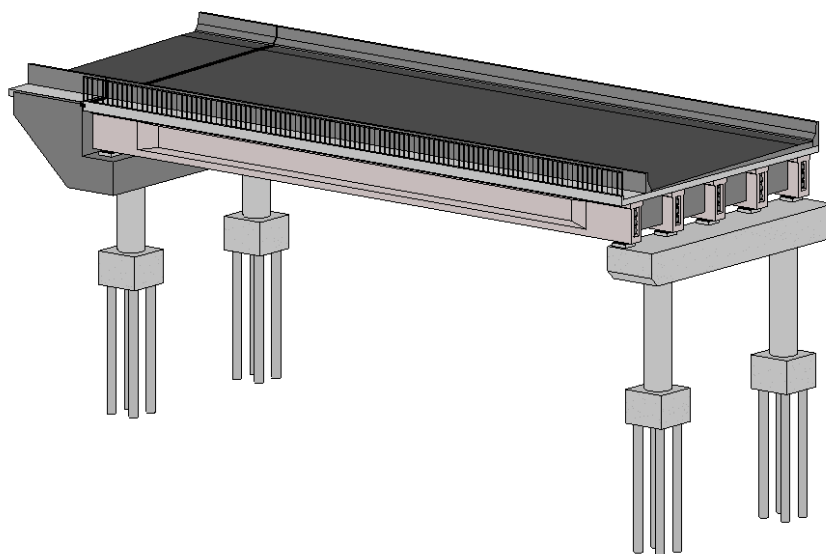
Após estudos iniciais e finalização dos pré-dimensionamentos, duas frentes de trabalho foram criadas: O desenvolvimento dos modelos de análise, utilizando o CSI Bridge 2024, e o desenvolvimentos dos objetos com atribuição dos parâmetros, utilizando o Revit 2024. O CSIBridge 2025, *software* desenvolvido a partir do SAP 2000 da empresa CSI América, apesar de já consolidado no mercado pelos seus resultados precisos de análise, ainda não é caracterizado como um *software* BIM. Portanto, os dados de análise e o modelo analítico não são exportados por meio de formatos não proprietários, da mesma forma que não é possível importar modelos de mesma natureza. Esta foi uma das barreiras encontradas para um fluxo *OpenBIM* no desenvolvimento deste trabalho. Estudos que abordam testes de interoperabilidade do CSIBridge serão apresentados nas etapas seguintes da pesquisa.

Os modelos analíticos foram desenvolvidos no CSIBridge, de forma totalmente independente ao modelo BIM. Todas as pontes foram novamente modeladas no *software* para viabilizar a inserção de cargas e as demais sequências da análise. Aqui, percebe-se uma interrupção no fluxo BIM, uma vez que não foi possível a utilização do modelo paramétrico produzido no *software* de modelagem, importado por meio de um formato neutro, gerando retrabalho.

Apesar do CSIBridge ser um *software* também de dimensionamento, ele ainda não contempla as exigências das normativas brasileiras. Com isso, o dimensionamento se deu através de um trabalho manual, utilizando programação em Microsoft Excel como ferramenta de cálculo onde foram inseridos todos os parâmetros, variáveis, coeficientes e equações. Nesta etapa de desenvolvimento do projeto, percebeu-se uma demanda muito grande de tempo na montagem das planilhas, que foram produzidas para cada elemento estrutural individualmente, tempo este que poderia ser economizado ao se trabalhar com um *software* de dimensionamento capaz de ler e interpretar o modelo de análise produzido pelo CSIBridge em um fluxo *OpenBIM*. Porém, além da falta de interoperabilidade, ainda não há no mercado *softwares* robustos de pontes que dimensionem segundo a normatização técnica brasileira.

Finalizada a etapa de criação das famílias paramétricas iniciou-se a montagem das pontes utilizando o Revit. Assim, modelos tridimensionais de cada ponte foram produzidos inicialmente de forma modular, como mostrado na Figura 30, que apresenta o módulo de 30 metros de vão, classe I-A, com passeio, de tipologia pré-moldada com longarinas protendidas, objetivando verificar se os elementos dimensionados e modelados individualmente eram compatíveis entre si.

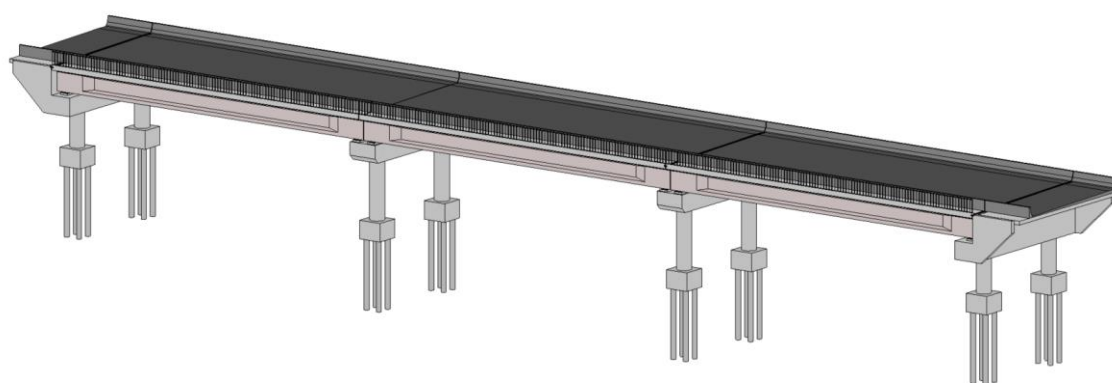
Figura 30: Módulos de pontes desenvolvidos para verificar a compatibilidade dos elementos dimensionados.



FONTE: O autor.

A partir destes módulos, foram produzidos modelos de cada ponte com três vãos (dois apoios extremos e dois apoios intermediários), como mostra a Figura 31, que traz como exemplo a ponte de três vãos de 30 m, classe I-A com passeio de tipologia pré-moldada com longarinas protendidas. Estes modelos serão também hospedeiros das armaduras modeladas após concluída a etapa de dimensionamento. A partir deles, foram criados os modelos centrais de cada ponte. O modelo central trata-se de um arquivo que possibilita o trabalho simultâneo de vários projetistas, otimizando o tempo e facilitando a compatibilização das armaduras.

Figura 31: Ponte com três vãos de 30 m, classe I-A com passeio de tipologia pré-moldada com longarinas protendidas.



Fonte: O autor.

Novamente, fazendo menção ao fluxo OpenBIM, nesta etapa também não foi possível obtê-lo. Os dados de dimensionamento produzidos no Excel foram usados como documento de consulta para a modelagem das armaduras e produção dos detalhamentos e pranchas no Revit, ou seja, não foi possível gerar um modelo estrutural vinculado aos dados obtidos através dos

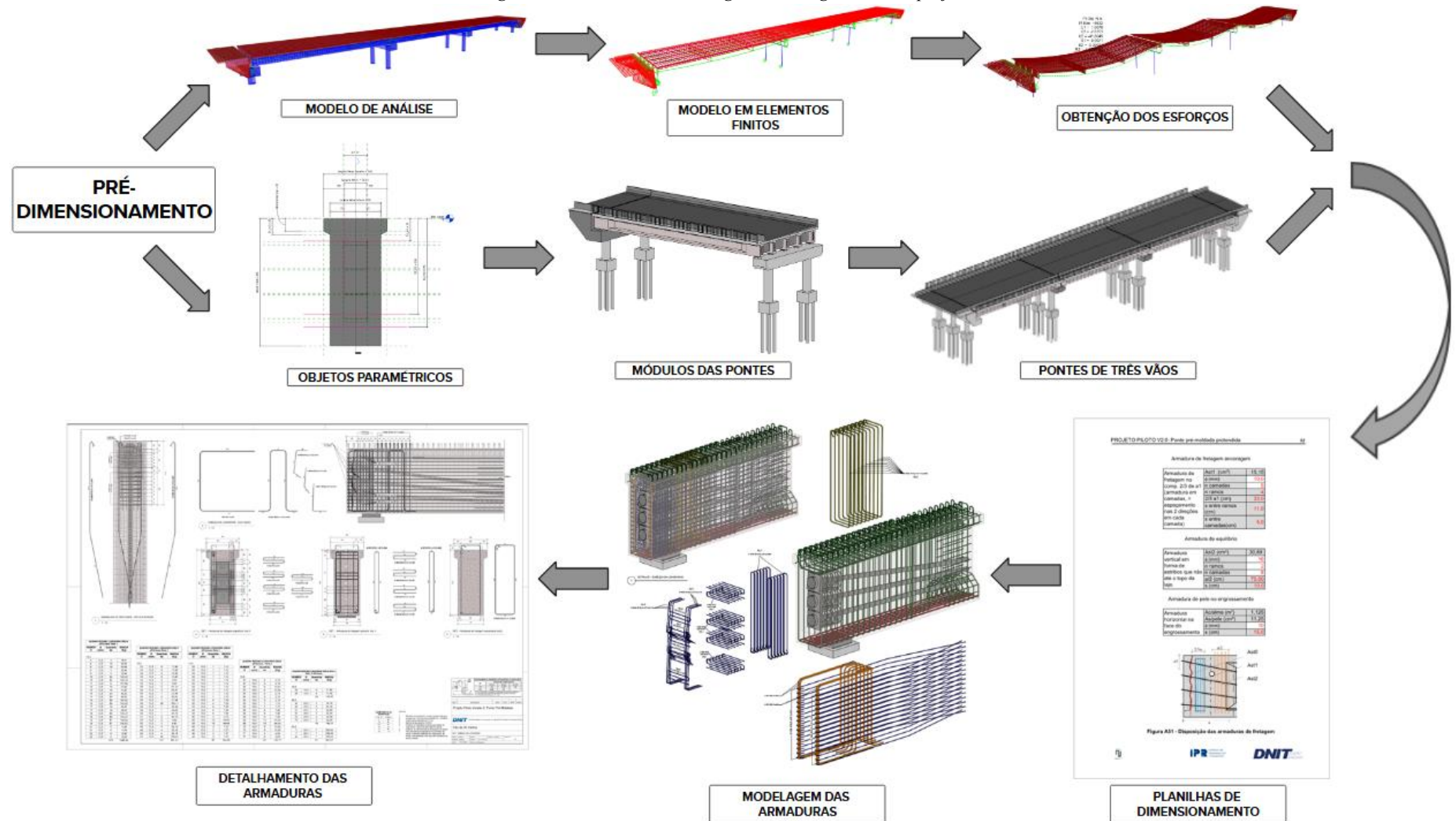
cálculos de dimensionamento. Novamente, a dificuldade em atualizar o modelo através das revisões no dimensionamento foram notadas, principalmente pela grande quantidade de elementos detalhados.

Para o detalhamento, optou-se novamente pela utilização do Revit, pela facilidade inserir as armaduras, gerar detalhes, vistas, quantitativos e pranchas, a partir do modelo central. Apesar do Revit otimizar o detalhamento, essa etapa ainda é muito mecânica e manual, e demanda grande parcela do tempo total de produção do projeto.

De modo geral, o fluxo seguido ao longo de todo o trabalho por meio de um fluxo convencional está descrito na Figura 32. A primeira imagem retrata uma das famílias paramétricas desenvolvidas; a segunda, retrata uma das pontes pré-moldadas com longarinas protendidas, modeladas com 3 vãos para a criação do modelo central. A terceira e quarta imagens mostram um dos modelos analíticos desenvolvidos no CSIBridge para extração dos esforços que foram lançados nas planilhas de dimensionamento, demonstradas na quinta imagem. A sexta imagem mostra as armaduras modeladas de uma longarina protendida, após concluído o dimensionamento deste elemento. Por fim, a sétima imagem destaca uma das pranchas de detalhamento desta mesma longarina após a modelagem de suas armaduras.

Apesar de em algumas etapas deste ciclo o BIM estar presente e otimizar partes do processo projetual, não houve um fluxo *OpenBIM* pleno, uma vez que não se utilizou um modelo único em todas as áreas do desenvolvimento e não foi possível a troca de informações por formato de arquivo neutro. Além disso, a troca de informações não se deu de forma automatizada e simultânea e, apesar do modelo BIM ser carregado de informações e parâmetros, possibilitando a troca via formato neutro, isso não foi experienciado.

Figura 32: Fluxo de trabalho seguido ao longo de todo o projeto.



FONTE: O autor.

Apesar de ser um fluxo conhecido e muito utilizado em diversos escritórios de projetos, foi um passo fundamental na elaboração do estudo, pois proporcionou a vivência real das lacunas ainda existentes para que seja possível a elaboração de um projeto de pontes totalmente em BIM.

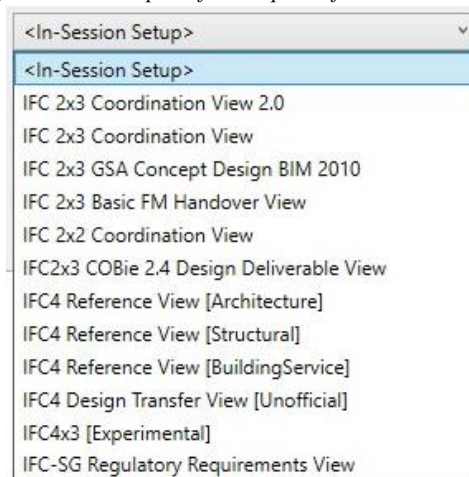
### 3.3. ETAPA 2

#### 3.3.1. Modelagem BIM

Para o desenvolvimento do projeto-base, utilizou-se o *software* Autodesk Revit versão 2024. Sua escolha se deu pelo uso gratuito para fins acadêmicos e por ser uma ferramenta consolidada no mercado, com um nível alto de desenvolvimento e por ser possível, através dele, a exportação do modelo por formato neutro.

O Revit possibilita a exportação de IFC2x3, IFC4 e do IFC 4x3, apesar de ainda classificado como experimental nesta última versão, como mostrado na Figura 33. É certificado pela *BuildingSMART* para os requisitos de troca apresentados na Figura 34. Na época do desenvolvimento desta etapa metodológica, a versão 2024 do Revit era a mais recente, e o IFC 4x3 estava na fase experimental. Porém, o Revit 2025 traz o IFC 4x3 sem a observação “[Experimental]”.

Figura 33: MVDs predefinidos por default do Revit 2024.



FONTE: O autor.

Figura 34: Requisitos de troca certificados pela BuildingSMART para o Revit 2024.

EMPRESA	SOFTWARE	VERSÃO IFC	MVD	VÍNCULO	STATUS DE IMPLEMENTAÇÃO
Autodesk	Autodesk Revit	IFC4	Architectural Reference Exchange	Importação	Finalizada
Autodesk	Autodesk Revit	IFC4	Architectural Reference Exchange	Exportação	Finished
Autodesk	Autodesk Revit	IFC4	Structural Reference Exchange	Exportação	Finished
Autodesk	Autodesk Revit	IFC4	MEP Reference Exchange	Exportação	Finished
Autodesk-R	Autodesk Revit Architecture	IFC 2x3	CV2.0-Arch	Exportação	Finished
Autodesk-R	Autodesk Revit Architecture	IFC 2x3	CV 2.0	Importação	Finished
Autodesk-R	Autodesk Revit LT	IFC 2x3	CV2.0-Arch	Exportação	Finished
Autodesk-R	Autodesk Revit LT	IFC 2x3	CV 2.0	Importação	Finished
Autodesk-R	Autodesk Revit MEP	IFC 2x3	CV2.0-MEP	Exportação	Finished
Autodesk-R	Autodesk Revit MEP	IFC 2x3	CV 2.0	Importação	Finished
Autodesk-R	Autodesk Revit Structure	IFC 2x3	CV2.0-Struct	Exportação	Finished
Autodesk-R	Autodesk Revit Structure	IFC 2x3	CV 2.0	Importação	Finished

FONTE: Adaptado de BuildingSMART (2024c).

No Revit 2025, ao selecionar a versão IFC4X3, o tipo de instalação já tem como opção *IfcBridge* (pontes), *IfcRailway* (ferrovias) e *IfcRoad* (estradas), como mostrado na Figura 35. Este é um importante avanço, haja vista a possibilidade de interpretar semanticamente modelos destes tipos de construções. Ao selecionar a *IfcBridge* como tipo de instalação, é possível definir o tipo de sistema construtivo da ponte em função das suas longarinas, ainda definidas como vigas pelo Revit 2025.

Figura 35: Configuração de exportação do arquivo ifc no Revit.

The image shows the 'Export IFC' dialog box in Revit, with the 'Avançado' (Advanced) tab selected. The 'Referência geográfica' (Geographic Reference) sub-tab is active, showing the following settings:

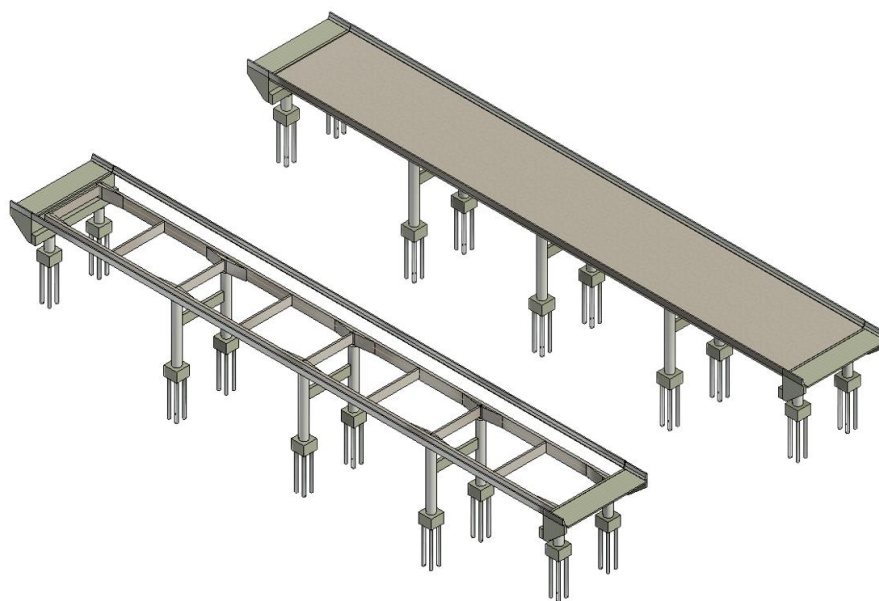
- Versão do IFC: IFC4x3
- Requisito de intercâmbio: (empty)
- Mapeamento de categoria: <Configuração na sessão>
- Tipo de arquivo: IFC
- Fase para exportar: Fase padrão para exportar
- Limites de espaço: Nenhum
- Tipo de instalação: Ponte (IfcBridge)
- Tipo predefinido de instalação: Viga (GIRDER)

At the bottom, there are buttons for 'Redefinir', 'OK', and 'Cancelar'. A checkbox 'Dividir paredes, colunas e dutos por nível' is unchecked. Below the main settings, there are fields for 'Informações do cabeçalho do arquivo...' and 'Endereço do projeto...'. On the right side, a list of installation types is shown, with 'Ponte (IfcBridge)' selected. The list includes: Ponte (IfcBridge), Edifício (IfcBuilding), Instalação marinha (IfcMarineFacility), Ferrovia (IfcRailway), Estrada (IfcRoad), Viga (GIRDER), Arqueado (ARCHED), Estai (CABLESTAYED), Balanço (CANTILEVER), Galeria pluvial (CULVERT), Estrutura (FRAMEWORK), Viga (GIRDER), Suspensão (SUSPENSION), Trelça (TRUSS), Definido pelo usuário, and Não definido.

FONTE: O autor.

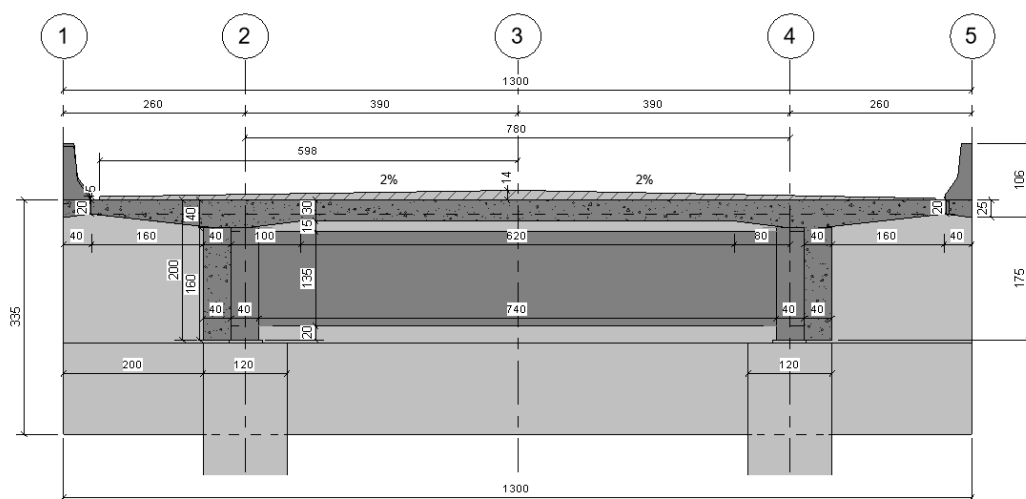
Para o estudo, a versão utilizada foi a IFC2X3 2.0, uma vez que é a única versão aceita na importação pelos softwares de análise avaliados. O modelo produzido é mostrado nas Figura 36, Figura 37 e Figura 38.

Figura 36: Vista isométrica do modelo BIM.



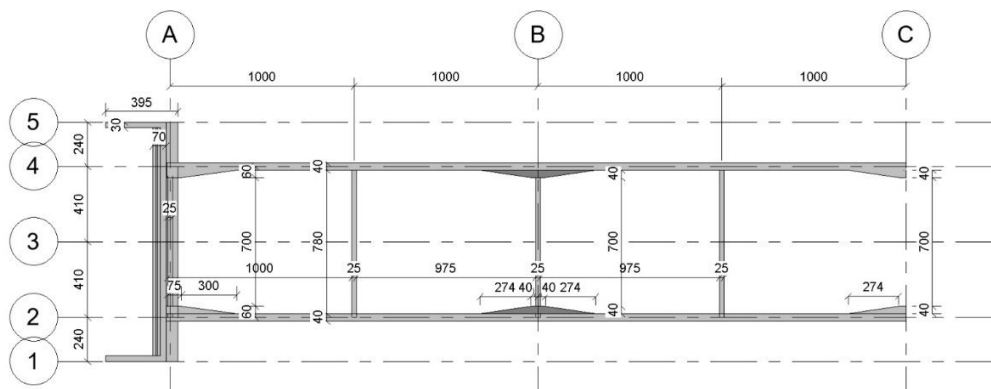
FONTE: O autor.

Figura 37: Seção transversal do projeto-base.



FONTE: O autor.

Figura 38: Seção longitudinal do projeto-base.



FONTE: O autor.

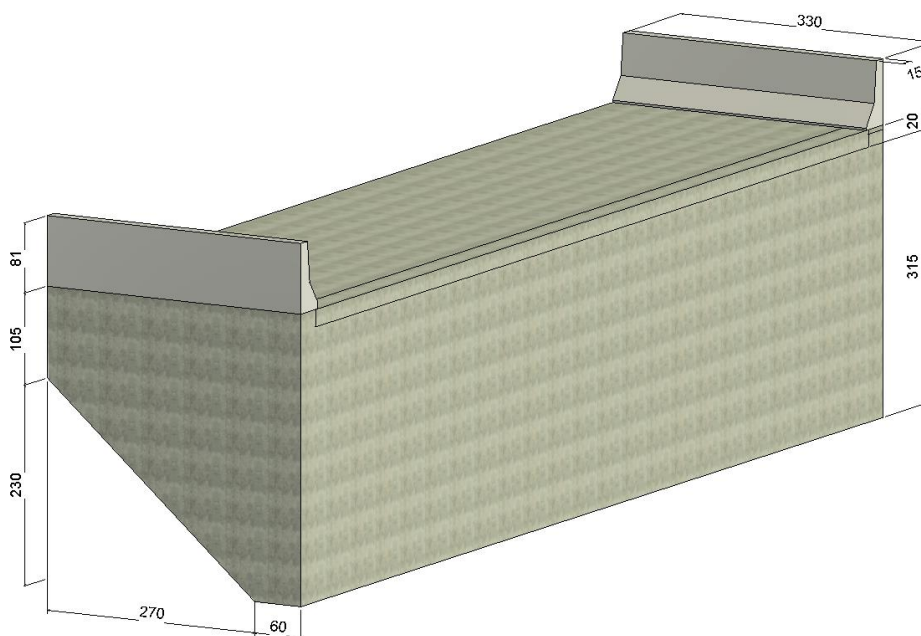
O modelo BIM compreende uma ponte monolítica em concreto armado, composta por 4 vãos de 20 m de comprimento cada (medidos entre os eixos dos pilares).

Os pilares centrais possuem diâmetro de 1,20 m e altura de 9,0 m, e são travados pelas travessas intermediárias que possuem seção transversal de (135x40) cm<sup>2</sup>, locadas à 2,5 m abaixo do topo do pilar. Os pilares extremos possuem também diâmetro de 1,20 m, porém altura de 2,0 m. No topo deles apoia-se a travessa extrema com seção transversal de (130x60) cm<sup>2</sup>.

As longarinas foram modeladas inicialmente desconsiderando as juntas de dilatação. Portanto, possuem comprimento equivalente à distância entre vãos de 20,0 m e seção transversal de (160x40) cm<sup>2</sup> nos vãos e (160x80) cm<sup>2</sup> nos apoios. As transversinas possuem seção transversal de (135x25) cm<sup>2</sup>.

As defensas possuem seção típica de barreiras *New Jersey*, conforme Manual 698 do DNIT (1996) e o encontro possui alas laterais, cortina de concreto armado e laje de transição, com dimensões especificadas na Figura 39.

Figura 39: Dimensões do encontro e defesa do projeto-base – vista isométrica.



FONTE: O autor.

Os elementos detalhados no modelo foram concebidos a partir de predefinições de anteprojeto e pré-dimensionamento. Assim, o modelo BIM constitui um estudo preliminar da arquitetura da ponte. Dele, portanto, se dá o ponto de partida da concepção estrutural.

### 3.3.2. Atribuições das entidades IFC

Para a definição das classes IFC de cada elemento, utilizou-se a documentação oficial do IFC, hospedado no site da *BuildingSMART*, que pode ser acessada através da plataforma digital da organização e é aberta a todo o público. A Tabela 5 traz estas definições para a versão mais atual disponibilizada pela *BuildingSMART*, compatível com a versão IFC 4.3.2.0 (IFC4X3\_ADD2).

Tabela 5: Classes IFC para cada elemento da ponte

ELEMENTOS ESTRUTURAIS	CLASSES IFC
Bloco de Fundação	<i>IfcFooting - Pilecap</i>
Estacas	<i>IfcPile</i>
Pilar	<i>IfcColumn</i>
Travessa	<i>IfcBeam - Piercap</i>
Berço	<i>IfcStructuralSurfaceMember</i>
Aparelho de apoio	<i>IfcBearing</i>
Encontro	<i>IfcCurtainWall</i>
Longarina	<i>IfcBeam - Girder Segment</i>
Transversina	<i>IfcBeam - Diaphragm</i>
Laje	<i>IfcSlab - Floor</i>
Laje de transição	<i>IfcSlab - Approach Slab</i>
Defensas	<i>IfcWall - Parapet</i>

FONTE: O autor.

Para que o vínculo através do IFC possa acontecer de forma plena entre ferramentas distintas, é imprescindível que estas classes sejam adequadamente carregadas ao modelo, de modo a não ocorrer erros de semântica. Algumas dessas classes só foram implementadas com a atualização do IFC para a versão 4x3. A maioria dos elementos específicos de pontes tiveram suas classes definidas nessa nova versão. Assim, *softwares* que ainda não à tenham implementado, não serão capazes de importar corretamente o modelo.

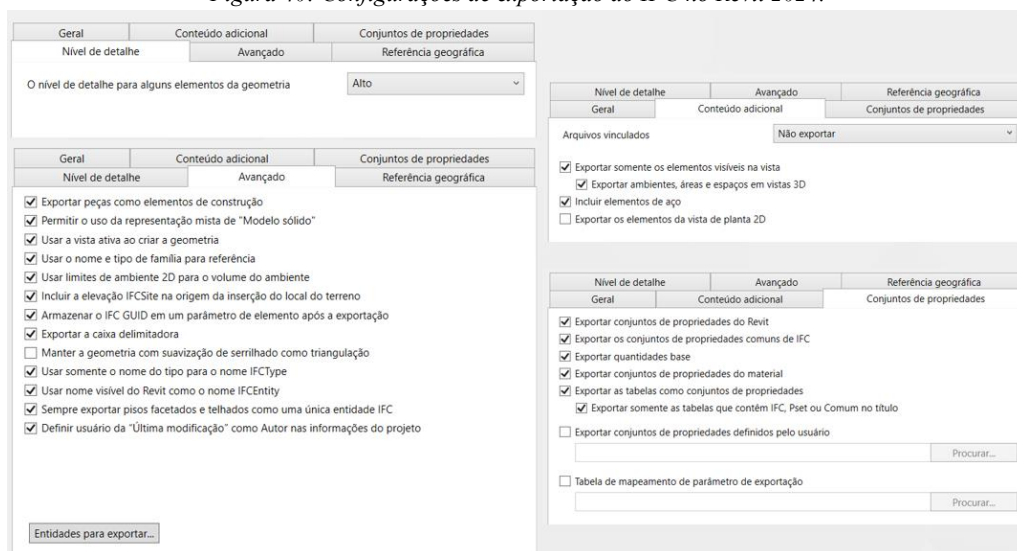
Este fato é importante, tendo em vista que *softwares* que ainda não possuem tradutores para a versão 4.3.2.0 do IFC, interpretam um modelo de ponte como um edifício. Ou seja, os elementos típicos são carregados com informações incorretas e muitas vezes desconhecidas. Caso o *software* seja somente para dimensionamento e análise de elementos específicos de pontes e não tenha implementado o IFC4x3, apesar do modelo ser concebido com as classes adequadas, o *software* de análise não conseguirá interpretá-lo e transformá-lo num modelo analítico.

Definindo o modelo e carregando com as classes e parâmetros necessários, deu-se início aos testes de interoperabilidade entre os *softwares*.

### 3.3.3. Configuração de importação IFC

O modelo carregado com as informações de classe foi então exportado com as configurações apresentadas na Figura 40. A versão IFC selecionada para exportação foi o IFC 2x3 CV2.0, uma vez que os *softwares* receptores avaliados não suportarem a importação de arquivos salvos nas versões IFC4 e IFC 4x3.

Figura 40: Configurações de exportação do IFC no Revit 2024.



FONTE: O autor.

Caso o *software* seja somente para dimensionamento e análise de elementos específicos de pontes e não tenha implementado o IFC4x3, apesar do modelo ser concebido com as classes adequadas, o *software* de análise não conseguirá interpretá-lo e transformá-lo num modelo analítico.

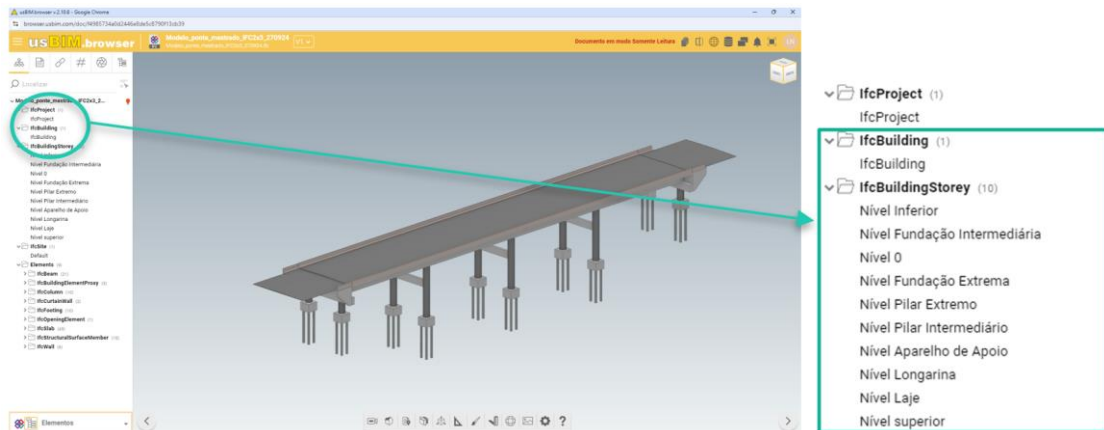
### 3.3.4. Validação do arquivo .ifc

Existem quatro possíveis origens para os prováveis erros encontrados ao exportar o arquivo salvo em IFC. O erro pode ter origem na forma com que a modelagem foi concebida, na configuração do arquivo .ifc, em como o *software* de origem gera o .ifc ou na leitura do arquivo pelo *software* receptor.

Assim, para que seja possível a identificação da origem destes erros, é necessária a validação do arquivo gerado. Para isso, duas formas de validação são utilizadas: A validação por visualizador de IFC e a validação por leitor de código IFC.

A validação por visualizador de IFC foi feita pelo visualizador ACCA usBIM.browser v.3.2.1, disponível de forma gratuita para alunos e professores através da plataforma digital da ACCA. O modelo foi importado com sua geometria completa, bem como suas informações, como mostrado na Figura 41 .

Figura 41: Importação do arquivo .ifc gerado através do modelo produzido pelo Revit 2024 no visualizador usBIM.browser v.3.2.1.

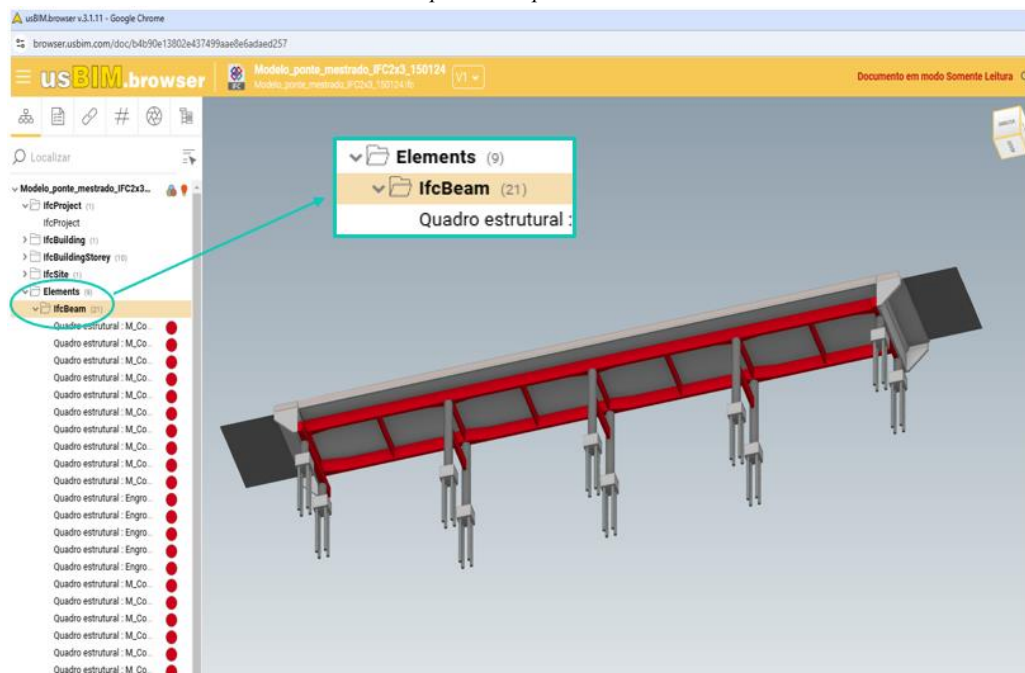


FONTE: O autor.

Percebe-se que nas definições do projeto estão especificadas as entidades *IfcBuilding* e *IfcBuildingStorey*. Ou seja, o modelo carregado da ponte é semanticamente definido como um edifício e os elementos da ponte são definidos como elementos de edifício. Isso é importante pois valida o que já foi discutido anteriormente em que ao gerar um arquivo .ifc na versão IFC 2x3 2.0 os elementos de pontes e o próprio modelo como um todo não tem sua semântica definida corretamente.

Para quantificar os elementos importados e interpretados ao carregar o arquivo em formato neutro para os *softwares* analisados, deve-se saber quantos desses elementos foram armazenados e se estes foram corretamente carregados com os parâmetros previamente definidos. O visualizador UsBIM.browser v.3.2.1 também foi utilizado para esta quantificação, como mostrado na Figura 42. Percebe-se também através da Figura 42 que todos os elementos definidos como vigas (longarinas, transversinas e travessas) foram corretamente importados com a semântica as quais foram definidos (*IfcBeam*).

Figura 42: Verificação da importação dos elementos Beam pelo visualizador de IFC para o arquivo .ifc gerado através do modelo produzido pelo Revit 2024.



FONTE: O autor.

Para a validação por leitor de código IFC foi utilizado o validador da *BuildingSMART* (2024d) que varre todo o código do arquivo e identifica erros de sintaxe, esquema, regras normativas e práticas da indústria. Ao carregar o arquivo no validador da *BuildingSMART* foi identificado um erro de esquema e um erro de regras normativas, mostrado na Figura 43 . Não foram identificados erros de sintaxe nem de práticas da indústria.

Figura 43: Resultado da validação pelo leitor da *BuildingSMART* para o arquivo .ifc gerado através do modelo produzido pelo Revit 2024.



FONTE: *BuildingSMART* (2024d).

O erro de esquema IFC detectado diz respeito a *IfcPropertySetDefinesType* e está associado com a forma com que o código de associação de propriedades de um determinado elemento é

organizado. Segundo a *BuildingSMART* (2024d), o *IfcPropertySet* é um conjunto que armazena propriedades específicas de uma árvore de propriedades. Alguns conjuntos de propriedades aplicáveis são listados na especificação do objeto no decorrer da modelagem. Portanto, o *IfcPropertySetDefinesType* é um conjunto de propriedades específicas de um tipo definido de objeto. Este erro é significativo, pois a associação das propriedades de um objeto, por exemplo, uma viga, um pilar ou uma laje é de extrema importância em uma análise estrutural e pode fazer com que o modelo BIM seja incapaz de ser aproveitado como modelo estrutural e extração de esforços. Como não pode ser solucionado diretamente na interface do *software* de modelagem com o usuário, trata-se de um erro do *software* ao gerar o arquivo .ifc.

O erro relativo às regras normativas é relacionado ao atributo “*PredefinedType*” e está associado com a entidade *IfcCurtainWallType*, como mostrado na Figura 44. Este atributo denota um tipo particular que indicará o objeto mais adiante. Assim, o uso do objeto deve ser estabelecido no nível de subtipos instanciáveis na organização das camadas do IFC. Neste caso em particular, ele deve ser definido pelo usuário se, ao carregar as informações do IFC no elemento Revit, o atributo “*PredefinedType*” for definido como “USERDEFINED”. Este erro tem sua origem na etapa de modelagem e do carregamento de informações do modelo e pode ser corrigido substituindo a opção “USERDEFINED” por “NOTDEFINED”.

Figura 44: Descrição do erro relativo às regras normativas do IFC para o arquivo .ifc gerado através do modelo produzido pelo Revit 2024.

**Normative IFC Rules**  include Passed, Disabled and N/A

▼ OJT001 - Object Predefined Type

ⓘ The rule verifies that the attribute 'PredefinedType' for object occurrences is used in accordance with Concept Template 4.1.3.2 - Object Predefined Type. Ref: [https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4\\_3/HTML/concepts/Object\\_Attributes/Object\\_Predefined\\_Type/c](https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_3/HTML/concepts/Object_Attributes/Object_Predefined_Type/c)  
[https://github.com/buildingSMART/ifc-gherkin-rules/blob/main/features/OJT001\\_Object-predefined-type.feature](https://github.com/buildingSMART/ifc-gherkin-rules/blob/main/features/OJT001_Object-predefined-type.feature)

Severity	Id	Entity	Expected	Observed
Error	#68532	IfcCurtainWallType	The value of attribute ElementTypeId must be not empty	-
Error	#68126	IfcCurtainWallType	The value of attribute ElementTypeId must be not empty	-

1-1 of 1 < >

FONTE: *BuildingSMART* (2024d).

Assim, como resultado da validação do arquivo .ifc gerado, tem-se dois erros detectados: Um erro relativo ao *software* de origem do modelo BIM e outro erro relativo à forma com que a modelagem foi concebida e carregada com as informações de classes e entidades. A partir disso, o arquivo foi importado pelos *softwares* receptores definidos anteriormente.

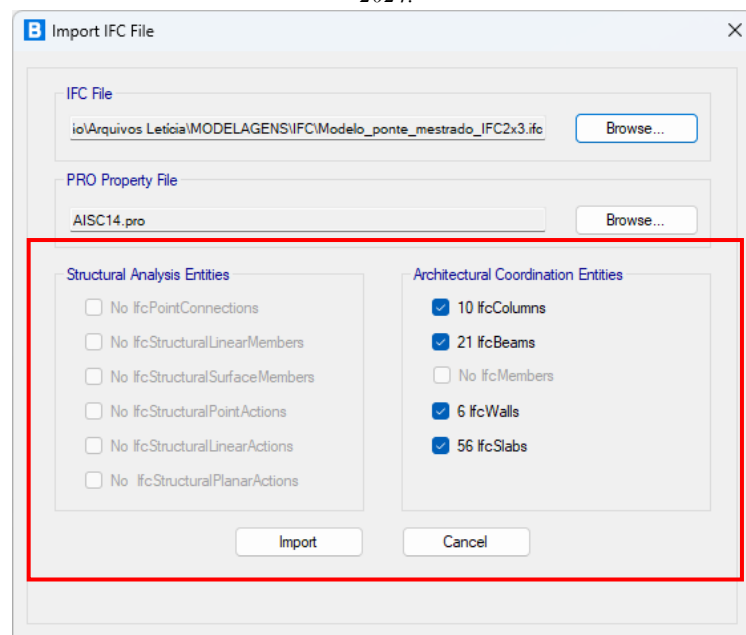
### 3.3.5. Importação pelo CSIBridge 2024

No caso da importação pelo CSIBridge 2024, ocorre uma informação prévia do que o *software* será capaz de interpretar. Como mostrado na Figura 45, nota-se que nenhuma entidade relacionada à análise estrutural foi identificada. Elementos estruturais como vigas, pilares e lajes foram identificados, porém, como entidades de arquitetura (não como elementos estruturais propriamente ditos). Isso pode ser explicado pelo fato de ser uma importação com base em *Coordination View* e não por *Analysis View*.

A partir da Figura 45, nota-se que o CSIBridge 2024 foi capaz de importar e interpretar 10 entidades *IfcColumn*, o que corresponde a 100% das ocorrências no modelo, 21 *IfcBeam* (100% de entidades dessa natureza), 6 *IfcWall*, equivalente a 100% das entidades definidas no modelo BIM) e 56 *IfcSlab*, uma discrepância, uma vez que foram definidas apenas 3 lajes, o tabuleiro e as duas lajes de transição.

Os elementos correspondentes ao encontro não foram lidos, da mesma forma que os elementos de fundação também não foram interpretados e sequer representados geometricamente, demonstrando que estes elementos ainda não reconhecidos pelo *software* analisado.

Figura 45: Relatório de importação gerado pelo CSIBridge 2024 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM gerado no Revit 2024.

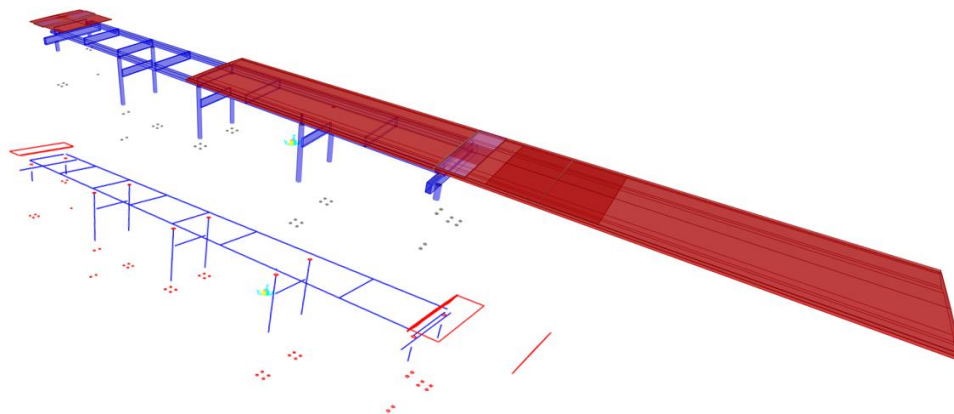


FONTE: O autor.

Após concluir o carregamento do arquivo, o modelo gerado a partir da tradução do IFC pelo CSIBridge 2024 é mostrado na Figura 46. Há erros na interpretação da geometria e da

localização no espaço dos elementos. A razão disso pode estar atrelada à definição de eixos locais e globais no CSIBridge 2024, que não condiz com o Revit 2024, que posiciona os elementos de acordo com o eixo global utilizado como referencial na modelagem, uma vez que na *Coordination View* essas informações são carregadas no arquivo .ifc ao exportar o modelo. Conclui-se, portanto, que há um erro de interpretação por parte do *software* receptor.

Figura 46: Modelo gerado pelo CSIBridge 2024 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM desenvolvido no Revit 2024.



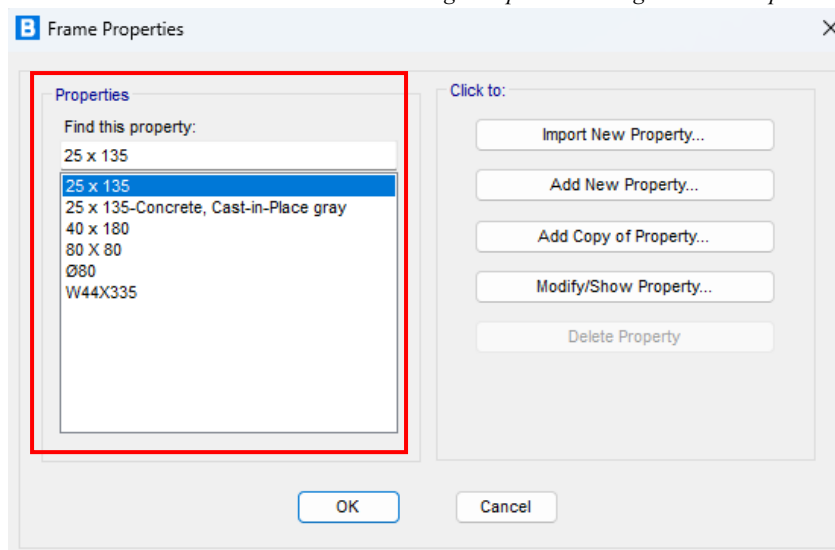
FONTE: O autor.

Apesar de ser um modelo de coordenação, foi possível extrair algumas informações dos materiais utilizados na modelagem. Porém o *software* receptor só consegue interpretar o nome do material, não atribuindo propriedades como peso específico, resistência, módulo de elasticidade, entre outros. Assim, não há possibilidade de, apenas com o modelo BIM, definir de forma automática as cargas permanentes.

Outro aspecto importante a ser observado, também ilustrado na Figura 46, é o fato de as vinculações não terem sido interpretadas automaticamente. Fato validado também pela forma de importação, que não identifica e não armazena estes dados por não ser o foco de sua utilização.

Além disso, por ser um *software* específico para pontes, o CSIBridge 2024 não interpreta os elementos como estruturais, uma vez que não são semanticamente compatíveis com as premissas de análise do *software*. Assim, para utilizar suas ferramentas, os elementos devem ser remodelados. Porém, como suas seções transversais são reconhecidas e armazenadas, como mostrado na Figura 47, podem ser aproveitadas para carregar o modelo de análise independente. Novamente, a função principal será de coordenação, não como dados de projeto.

Figura 47: Dimensões de elementos do modelo BIM carregadas pelo CSIBridge 2024 ao importar o arquivo .ifc.



FONTE: O autor.

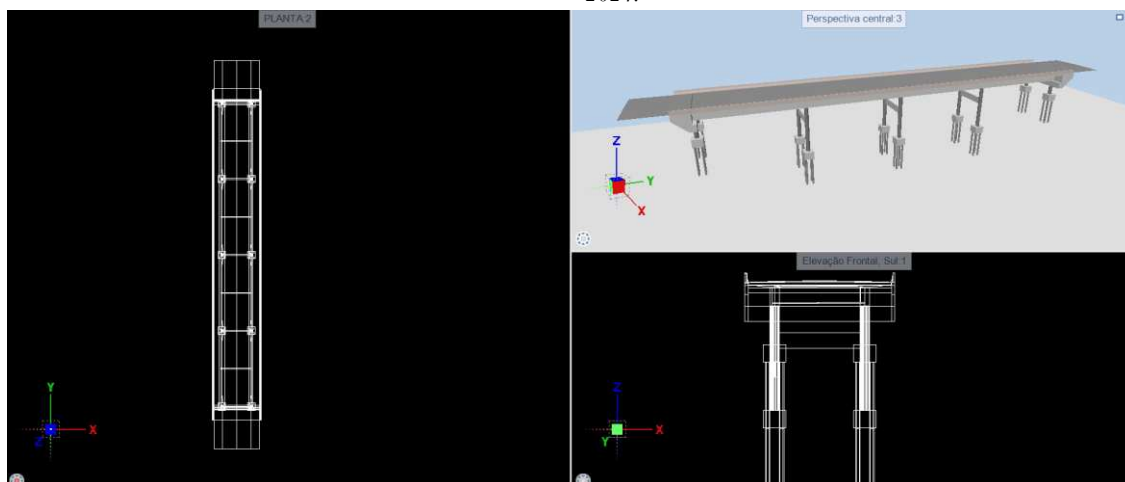
Outra observação importante é a de que o *software* receptor não interpreta a seção transversal do tabuleiro da ponte de forma automática, possivelmente pela importação incorreta de sua geometria. Assim, é necessário redefinir a seção para realização da análise estrutural. Nem mesmo a seção transversal da longarina é aproveitada, apesar de ter sido importada de forma rotacionada.

As defensas, modeladas e classificadas no modelo BIM, assim como o encontro e a fundação, não foram exportadas. Uma possível explicação se deve ao fato de que as classes IFC desses elementos foram implementadas a partir do IFC 4, que não é implementado no CSIBridge 2024 para importação.

### 3.3.6. Importação pelo Allplan Engineering 2024

Na importação pelo Allplan Engineering 2024, o modelo BIM foi bem representado, todos os elementos tiveram sua geometria lida e interpretada pelo tradutor IFC do *software*, como mostrado na Figura 48. A Allplan possui certificação pela *BuildingSMART* (2024c) de MVDs para seus *softwares* com atualizações para o IFC4, conforme mostra a Figura, que contempla alguns elementos de infraestrutura em suas classes. Isso pode ser um fator responsável por elementos como defesa, encontro e a fundação tenham sido traduzidos.

Figura 48: Modelo gerado pelo Allplan Engineering 2024 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM desenvolvido no Revit 2024.



FONTE: O autor.

Assim como o CSIBridge 2024, este *software* não possui certificação de MVD *Structural Analysis View*. Os MVDs certificados para o Allplan Engineering 2024 são mostrados na Figura 49. Assim, os elementos também são importados pelo *software* apenas para fins de colaboração e compatibilização. Apesar de algumas informações serem importadas, como material e entidades IFC, o *software* não gera um modelo analítico através do modelo BIM, nem os interpreta para fins estruturais.

Figura 49: MVD's certificados pela BuildingSMART para o Allplan Engineering 2024.

EMPRESA	SOFTWARE	VERSÃO IFC	MVD	VÍNCULO	STATUS DE IMPLEMENTAÇÃO
NEMETSCHEK Allplan GmbH	Allplan	IFC 2x3	CV2.0-Arch	Exportação	Finished
NEMETSCHEK Allplan GmbH	Allplan	IFC 2x3	CV 2.0	Importação	Finished
Allplan GmbH	Allplan	IFC4	Architectural Reference Exchange	Importação	In Progress
Allplan GmbH	Allplan	IFC4	Architectural Reference Exchange	Exportação	Finished

FONTE: Adaptado de BuildingSMART (2024c).

Em relação ao número de elementos importados pelo *software*, a Figura 50 mostra que foram interpretados 8 elementos de parede, que demonstra um possível erro de leitura em algum dos elementos, uma vez que só foram definidos 6 *IfcWall* no modelo, correspondente às defensas.

Os pilares foram importados corretamente. A Figura 50 mostra que os 10 elementos definidos no modelo foram importados e interpretados pelo Allplan Engineering 2024. Percebe-se que as lajes também foram importadas corretamente, as três lajes definidas no modelo foram devidamente interpretadas pelo *software*, o que auxilia na confirmação de que o erro na leitura do CSIBridge 2024 não está relacionado com o modelo.

As vigas foram definidas como *IfcBeam*: 2 longarinas, 12 transversinas, 5 travessas e as 2 cortinas do encontro, totalizando 21 elementos de vigas, correspondentes ao número de elementos importados pelo Allplan Engineering 2024, como representado na Figura 50.

Em relação à fundação, 63 elementos foram identificados, número incompatível ao que foi definido no modelo, correspondente a 50 elementos (40 estacas e 10 blocos de fundação). Nesse caso, percebe-se também que pode ter ocorrido algum erro de leitura por parte do *software*, uma vez que na validação pelo UsBIM.browser v.3.2.1 da ACCA, os elementos de fundação foram verificados e estão em conformidade com a definição das entidades no modelo.

Neste teste, diferentemente do anterior, foram constatadas três entidades *IfcProxy*, ou seja, elementos geometricamente representados, porém, que não tiveram sua semântica identificada. Além disso, outra diferença para o CSIBridge 2024 foi a importação dos eixos da ponte. Nesta importação, foram identificados 8 eixos correspondentes aos níveis determinados no ato da modelagem, o que corresponde a 80% dos eixos modelados e carregados no arquivo .ifc mostrados na Figura 50.

Figura 50: Relatório de importação gerado pelo Allplan Engineering 2024 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM gerado no Revit 2024.



```
Arquivo de registro
Arquivo de mapeamento do atributo usado: <vazio>.

Relatório avançado

Objetos IFC :
-----
Ambiente : 0
Acabamento : 0
Parede : 8
Pilar : 10
Laje inferior e superior : 3
Cobertura do telhado : 0
Painel do telhado : 0
Viga : 21
Fundação : 63
IFC proxy : 3
Móvel e outros equipamentos, objetos : 0
Elementos 2D : 0
Abertura : 0
Escada : 0
Porta : 0
Janela : 0
MDT : 0
Armadura : 0
Grade de eixo : 8
Outros elementos : 0

Todos os elementos : 116
```

FONTE: O autor.

Como o AllPlan Engineering 2024 é um *software* de detalhamento, não é escopo do *software* a conversão do modelo arquitetônico em um analítico. Porém, é escopo a modelagem e o detalhamento de armaduras. Assim, é importante que este vínculo através do IFC ocorra de

forma satisfatória para que o *software* analisado seja capaz de identificar o elemento estrutural ao qual suas armaduras serão modeladas.

### 3.3.7. Importação pelo OpenBridge Design 2023

Segundo a *BuindingSMART* (2024c), o OpenBridge Design 2023 é certificado apenas para visualizações de coordenação, tanto para importação quanto para exportação, como mostrado na Figura 51, para a versão do IFC 2x3. Assim, elementos de pontes ainda não serão semanticamente reconhecidos pelo *software*.

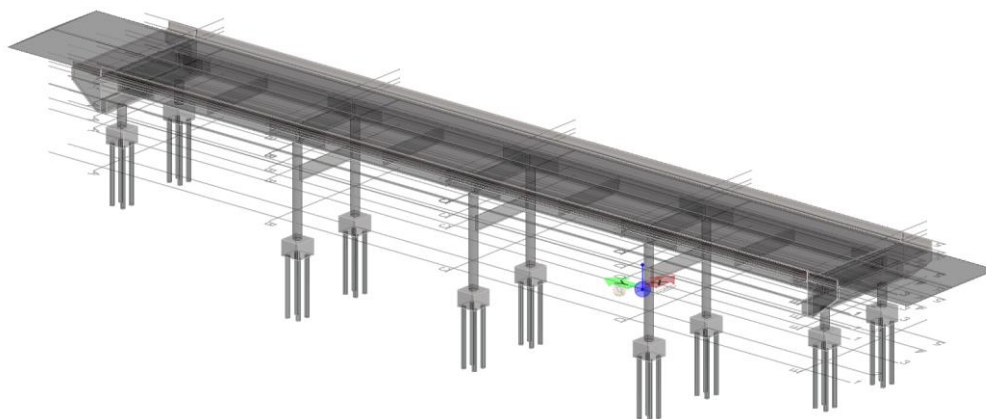
Figura 51: MVD's certificados pela BuildingSMART para o OpenBridge Design 2023.

EMPRESA	SOFTWARE	VERSÃO IFC	MVD	VÍNCULO	STATUS DE IMPLEMENTAÇÃO
Bentley Systems, Incorporated	OpenBuildingsDesigner	IFC 2x3	CV2.0-Arch	Export	Finished
Bentley Systems, Incorporated	OpenBuildingsDesigner	IFC 2x3	CV 2.0	Import	Finished

FONTE: Adaptado de BuildingSMART (2024c).

Como ilustrado na Figura 52, na importação pelo OpenBridge Design 2023, o modelo geométrico da ponte foi traduzido de forma satisfatória. Além disso, alguns eixos que não foram definidos com entidades IFC também foram importados. Ainda não se sabe ao certo porque isso ocorreu, já que na visualização pelo UsBIM.browser v.3.2.1, esses eixos não foram detectados, o que era esperado, já que não tiveram classes definidas. Assim, não deveriam estar presentes no arquivo .ifc.

Figura 52: Modelo gerado pelo Open Bridge ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM.

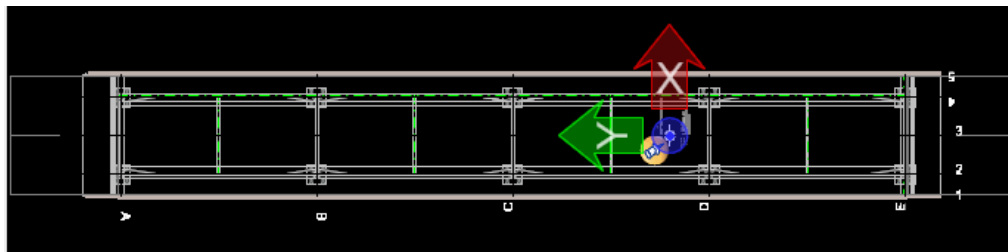


FONTE: O autor.

Além da geometria e assim como no caso da importação pelo Allplan Engineerign 2024, o OpenBridge Design 2023 também gerou a planta baixa do modelo orientado a partir dos eixos globais do *software*, como mostra a Figura 53. Nesta janela de visualização, foi possível a

seleção individual de cada elemento, e junto a isso, visualizar algumas características específicas armazenadas nos parâmetros definidos no modelo BIM.

Figura 53: Planta baixa gerada pelo OpenBridge Design 2023 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM desenvolvido no Revit 2024.

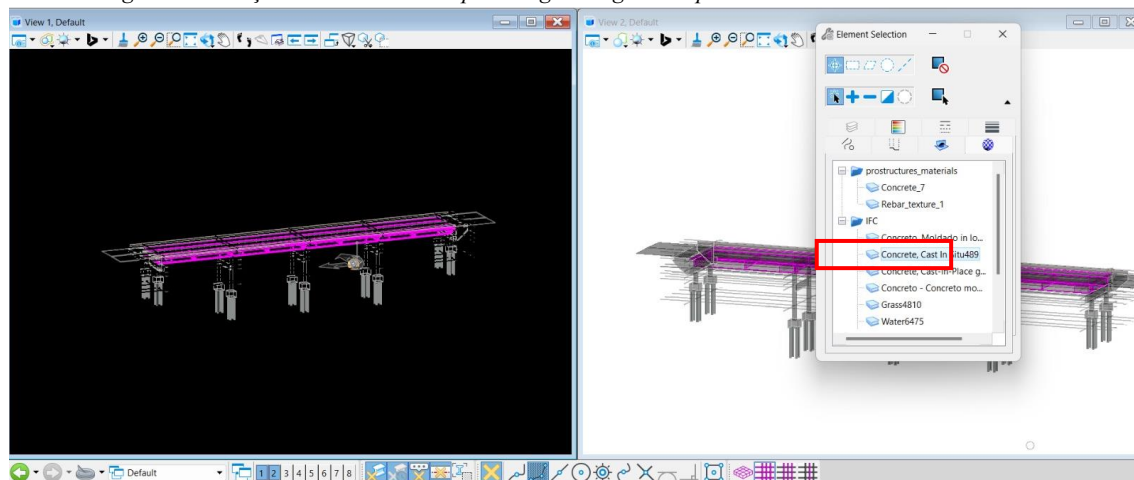


FONTE: O autor.

Com relação à quantidade de elementos importados e interpretados semanticamente através de suas entidades IFC definidas no modelo, o OpenBridge Design 2023 não apresentou um relatório como mostrado nos testes anteriores do CSIBridge 2024 e do Allplan Engineering 2024. Ao selecionar o material, o elemento associado a ele também é selecionado, como mostra a Figura 54, sendo possível contabilizar quantos elementos foram semanticamente interpretados. Assim, como alternativa, associou-se os elementos ao seu respectivo material, como mostrado na

Figura 55.

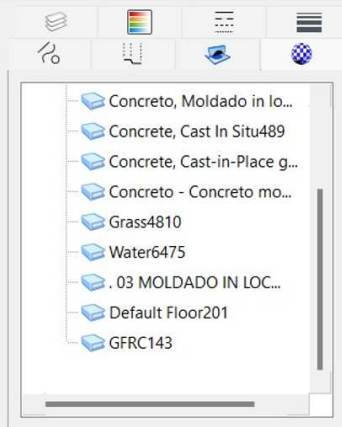
Figura 54: Seleção do elemento no OpenBridge Design 2023 por meio do material atribuído a ele.



FONTE: O autor.

Figura 55: Organização e quantificação dos elementos com base em seu material no OpenBridge Design 2023.

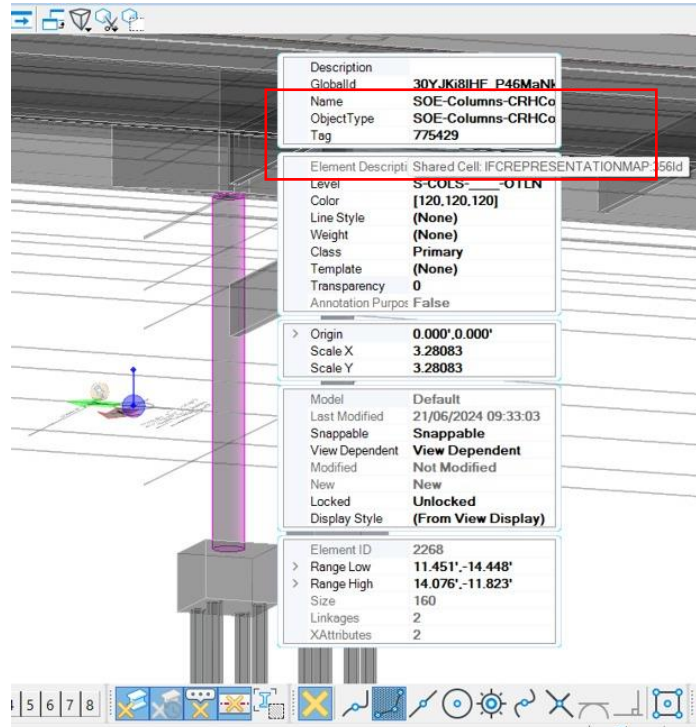
MATERIAL	ELEMENTOS ASSOCIADOS
Concreto moldado in loco 6430	2 encontros
Concrete, cast in situ 489	2 Longarinas
	9 transversinas
	1 tabuleiro
Concrete, cast in place gr520	10 blocos de fundação
	2 lajes de transição
	3 travessas
	10 Aparelhos de apoio
	6 defensas
Concreto moldado 4937	6 defensas
Concreto moldado in loco 749	Estacas de fundação
Default floor 201	Pavimentação
GFRC 143	10 Pilares



FONTE: O autor.

Neste teste, um dos erros semânticos observados na importação foi a falta de identificação dos elementos com seus respectivos nomes (vigas, pilares, lajes etc.). Como exemplo, a Figura 56 foi retirada do *software* onde, ao selecionar um dos pilares, sua identificação e tipo aparecem como coluna, porém, na descrição do elemento a identificação de compartilhamento está definida como *IfcRepresentationMap*, não como *IfcColumn*.

Figura 56: Exemplo de erro semântico apresentado pelo Open Bridge ao importar o arquivo .ifc.



FONTE: O autor.

Novamente, não foi possível gerar o modelo analítico com base no modelo BIM. Neste caso, uma das maiores dificuldades foi o manuseio do *software*. O OpenBridge Design 2023 é uma ferramenta potente e complexa, possui boa aceitação por engenheiros e escritórios

européus. Porém, no Brasil ainda é pouco difundido e existem poucas referências de ensino do *software*, dificultando sua avaliação.

### 3.3.8. Importação pelo Scia Engineer 22.1

O Scia Engineer 22.1, *software* da empresa Nemetschek, possui MVDs certificados pela BuildingSMART (2024c) para exportação e para importação, conforme Figura 57. O MVD destinado à exportação relaciona-se a uma visualização de coordenação para fins estruturais. O MVD destinado a importação, caso em que está sendo analisado, está relacionado a uma visualização de coordenação para fins de colaboração.

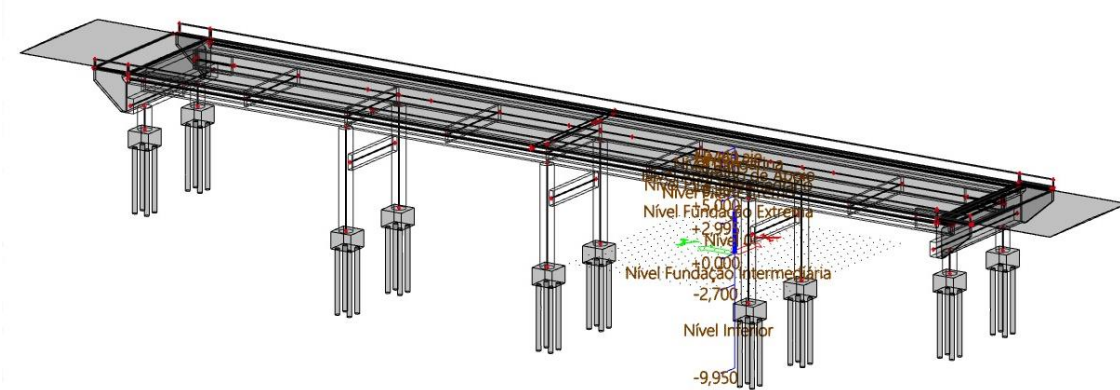
Figura 57: MVD's certificados pela BuildingSMART para o Scia Engineer 22.1.

EMPRESA	SOFTWARE	VERSÃO IFC	MVD	VÍNCULO	STATUS DE IMPLEMENTAÇÃO
NEMETSCHKEK Scia	Scia Engineer	IFC 2x3	CV2.0-Struct	Export	Finished
NEMETSCHKEK Scia	Scia Engineer	IFC 2x3	CV 2.0	Import	Finished

FONTE: Adaptado de BuildingSMART (2024c).

Ao importar o arquivo .ifc da ponte no Scia Engineer 22.1, o modelo geométrico gerado, mostrado na Figura 58, foi satisfatório. Todos os elementos da ponte foram carregados, porém, alguns deles não tiveram sua volumetria bem representadas, estando visíveis apenas por meio das linhas de suas arestas.

Figura 58: Modelo gerado pelo Scia Engineer 22.1 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM desenvolvido no Revit 2024.



FONTE: O autor.

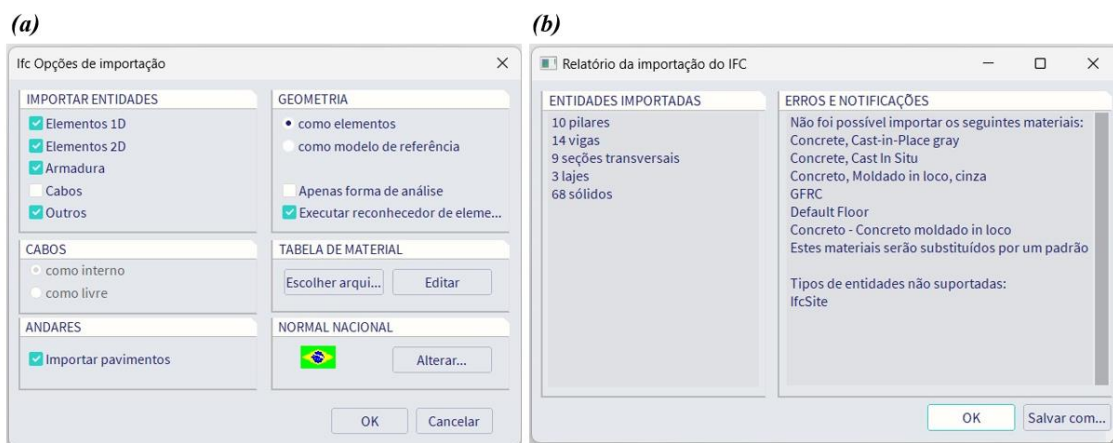
Em uma análise quantitativa da leitura dos elementos da ponte pelo Scia Engineer 22.1, a Figura 59b mostra que 104 sólidos foram exportados, sendo 10 pilares, 14 vigas, 9 seções transversais indefinidas, 3 lajes e 68 sólidos que também não foram identificados como elementos estruturais. Portanto, somente as lajes, pilares e vigas foram identificadas corretamente e em sua totalidade. Alguns erros também foram apontados no relatório de

importação gerado, tais como a impossibilidade de importação de alguns materiais associados e a não identificação e leitura da entidade *IfcSite*, que surgiu com a nova atualização do IFC 4x3, que ainda não está implementado pelo *software* em questão.

Diferente dos outros *softwares* analisados, o Scia Engineer 22.1 traz uma janela de opções de importação, mostrada na Figura 59a, nesta aba existem opções de seleção das entidades e geometrias a serem importadas, além da opção de importar todos os pavimentos ou não. Em relação ao material, a janela traz uma aba de escolha do tipo de material, neste caso, os materiais que deveriam ter sido exportados são os associados aos elementos estruturais modelados. Além disso, o *software* possibilita a escolha das normas brasileiras como diretrizes de projeto.

No caso da importação de entidades, todas elas foram selecionadas, exceto opção do cabo, já que a ponte modelada não possui nenhum elemento protendido, assim, não há cabo de protensão nem interno, nem externo. Para a geometria, foi selecionada a opção de geometria como elemento, para que os elementos sejam identificados de forma individual. Além disso, foi selecionada a opção que executa o reconhecedor de elementos para que os objetos modelados tenham sua semântica atribuída.

Figura 59: Configuração e relatório de importação gerado pelo Scia Engineer 22.1 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM gerado no Revit 2024.

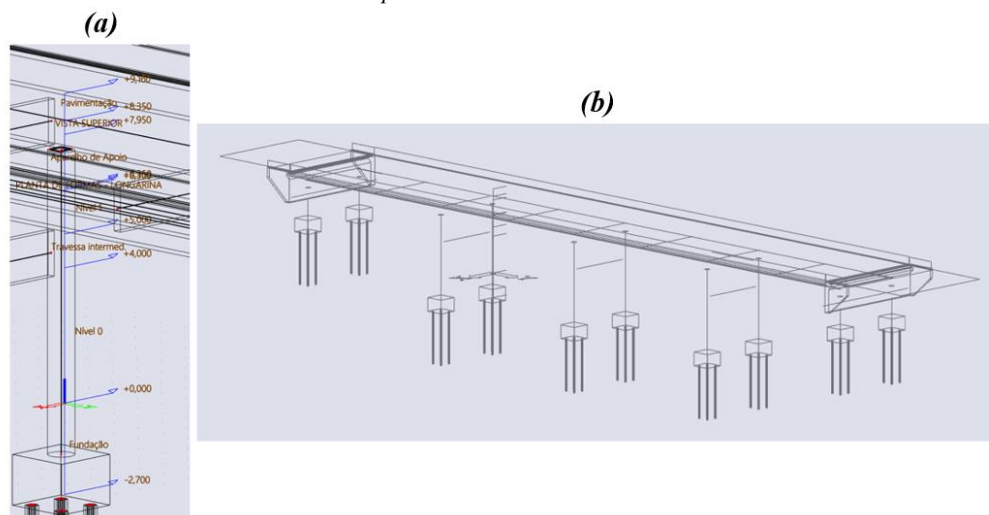


FONTE: O autor.

Outro aspecto a ser observado é que, se tratando de um *software* de análise, o Scia Engineer 22.1 foi capaz de identificar os elementos estruturais e traçar seus eixos para gerar o modelo analítico através de barras e nós. Entretanto, como já discutido, essa correspondência quase nunca é condizente com a realidade, como acontece neste caso e pode ser melhor percebido na Figura 60b. Os nós de ligação gerados não estão ligando corretamente os elementos, necessitando de uma manipulação manual para que este problema seja corrigido e seja possível realizar a análise. Apesar de ser possível a correção da posição dos nós, este é um trabalho que

demanda tempo e se torna mais difícil quando comparado a criar uma nova modelagem ao invés da importação do arquivo .ifc.

Figura 60: Eixos importados pelo Scia Engineer 22.1 e modelo analítico gerado pelo software a partir do modelo BIM produzido no Revit 2024.



FONTE: O autor.

Outro apontamento importante neste processo é mostrado na Figura 60a e mostra que apenas os eixos configurados no modelo BIM e atribuídos ao arquivo .ifc foram lidos e interpretados pelo Scia Engineer 22.1. Isso reforça a confiabilidade do arquivo salvo em formato não proprietário e demonstra que, no caso da importação pelo Open Bridge Design 2023, os eixos que foram importados, apesar de não estarem atribuídos no arquivo .ifc, podem não estar relacionados à forma com que o arquivo foi gerado.

Os resultados obtidos neste teste foram pautados na configuração de importação apresentada na Figura 59a, considerada condizente com a finalidade a qual se destina. Assim, sugere-se testes específicos deste *software* para outras formas de configuração de importação em estudos futuros que não foram apresentados neste trabalho pela quantidade de *softwares* analisados. Uma discussão interessante seria a variação da qualidade do modelo BIM importado pelo Scia Engineer 22.1 ou versões mais atuais mediante as possíveis configurações de importação.

### 3.4. ETAPA 3

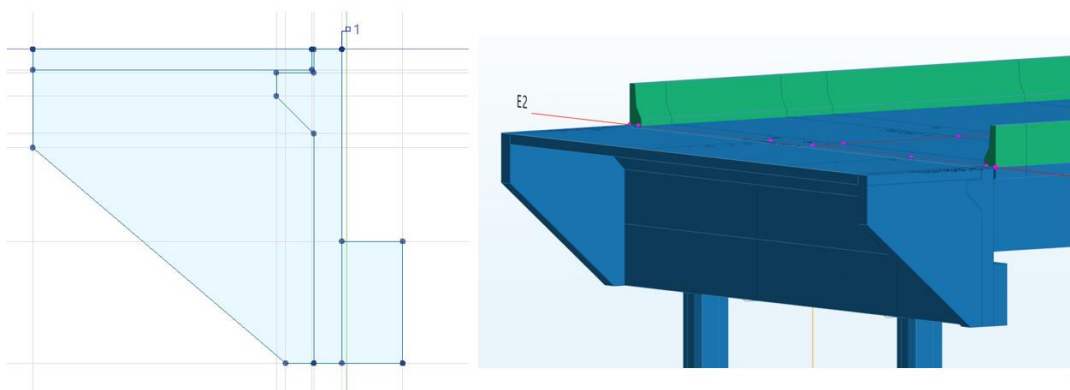
#### 3.4.1. Modelagem BIM

Nesta etapa do desenvolvimento metodológico, utilizou-se o Allplan Bridge 2024 como ferramenta de modelagem. Esse *software* era originalmente uma ferramenta do Allplan Engineering. Com o crescimento de suas funcionalidades, tornou-se um *software* independente. Apesar de ser uma ferramenta robusta e prática, não se classifica como um *software* BIM pois não possibilita importação ou/e exportação IFC.

Para a elaboração do modelo, as mesmas dimensões definidas na Etapa 2 foram utilizadas. A mesma ponte modelada no Revit foi novamente modelada no Allplan Bridge para que, a partir dele, novos estudos de interoperabilidade fossem desenvolvidos, desta vez, utilizando outro *software* de modelagem, que possui uma abordagem e rotina de modelagem diferente do proposto pelo Revit.

Apesar de não se caracterizar como um *software* BIM, o Allplan Bridge tem como fundamentação principal a modelagem paramétrica. Todos os elementos criados através de parâmetros condicionados por linhas e pontos, formando elementos bidimensionais. Como exemplo, na Figura 61 mostra-se a modelagem do encontro da ponte utilizada como modelo-base, onde foram utilizadas linhas parametrizadas para gerar a seção transversal de todos os elementos que o compõe.

Figura 61: Modelagem do encontro no Allplan Bridge.



FONTE: O autor.

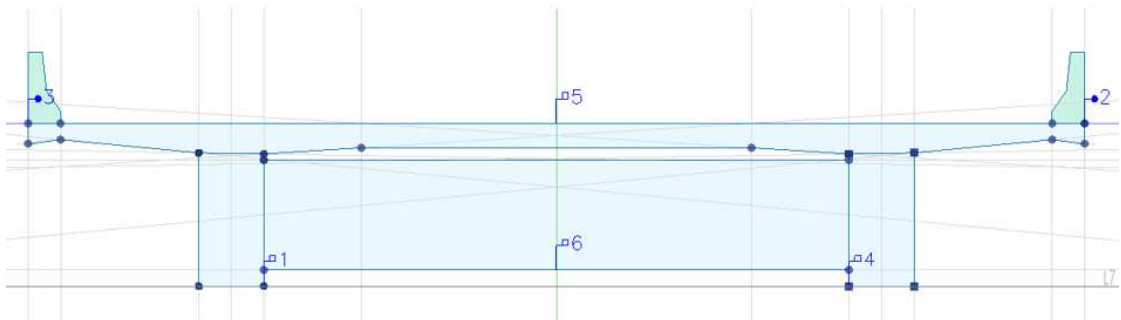
Para a modelagem do tabuleiro, no caso de pontes monolíticas de concreto armado, a abordagem do Allplan Bridge é parecida com a utilizada no CSIBridge, onde todos os elementos da superestrutura (laje, longarina, transversina e defensas) são modelados juntos, numa mesma seção transversal, como mostrado na Figura 62. Importante ressaltar que no Allplan Bridge é

possível realizar a modelagem dos elementos da ponte de formas distintas, seria possível, por exemplo, modelar cada elemento individualmente e inseri-los ao modelo posteriormente. Porém, para o caso de pontes monolíticas essa opção não seria viável por ser mais trabalhosa.

Apesar de terem sido modelados numa mesma interface de criação, cada elemento da superestrutura trabalha individualmente e são independentes entre si, isso é demonstrado no modelo através dos números presentes na Figura 62, onde cada um deles representa um elemento específico. No caso da laje, por exemplo, o número que a representa é o 5, sendo assim, na interface de modelagem onde estão contidos os elementos da superestrutura, a laje é o elemento 5.

Além disso, para a inserção da transversina, foram definidas duas seções transversais da superestrutura, uma com o elemento e outra sem, e essas duas seções foram intercaladas conforme posicionamento das transversinas no projeto, representadas por seções definidas ao longo do comprimento da ponte. A seção típica é mostrada na Figura 63.

Figura 62: Definição da seção transversal da superestrutura da ponte.



FONTE: O autor.

Figura 63: Atribuição das seções do tabuleiro ao longo do grid da ponte.

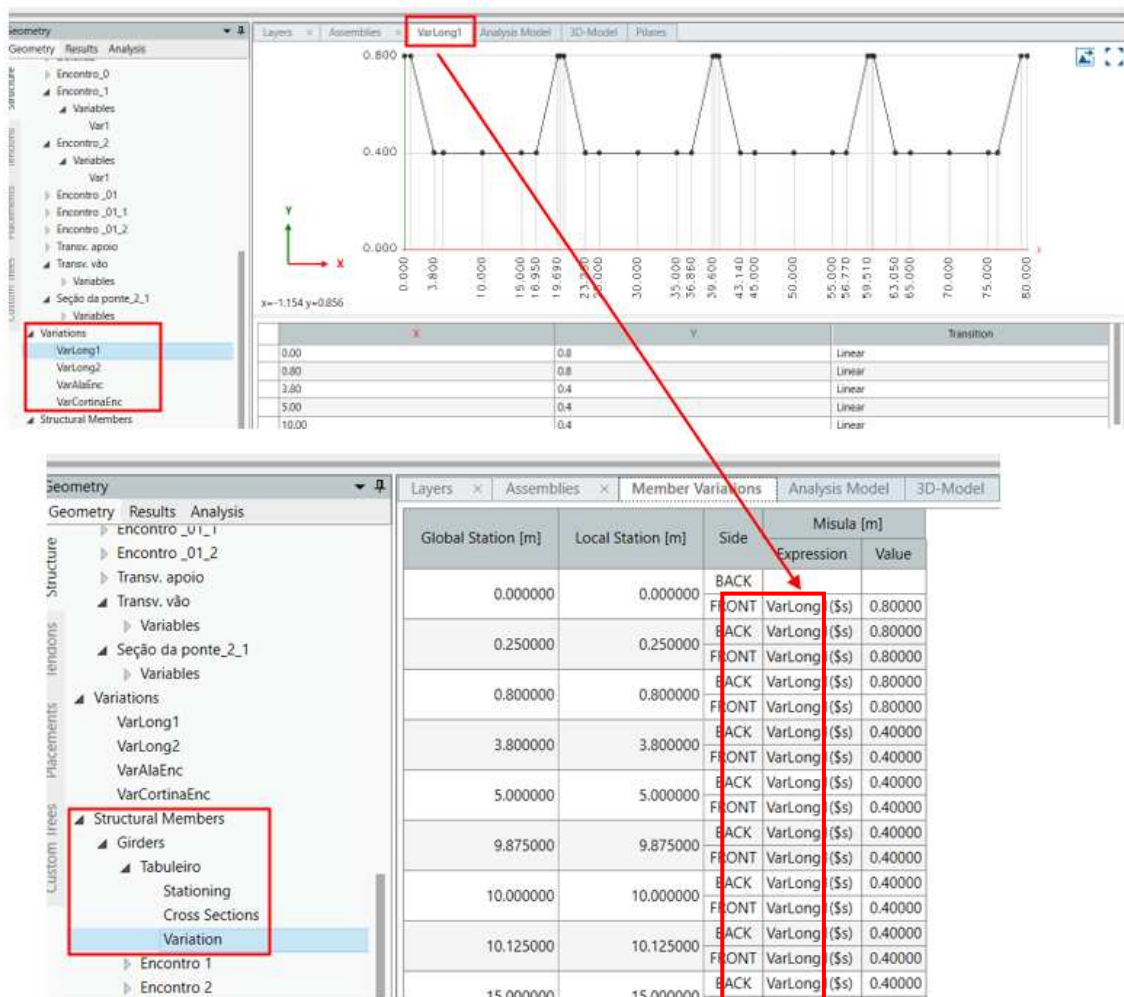
A imagem mostra a interface de um software de modelagem. À esquerda, há uma árvore de navegação com 'Seção da ponte\_2' e 'Seção da ponte\_1' destacados. À direita, há uma tabela de atribuição de seções.

Global Station [m]	Local Station [m]	Side	Cross Section	Variant	Kink Type	Angle B
0.000000	0.000000	BACK				
		FRONT	Seção da ponte_2_1	v001	None	
0.250000	0.250000	BACK	Seção da ponte_2_1	v001	None	
		FRONT	Seção da ponte_2	v001	None	
0.800000	0.800000	BACK	Seção da ponte_2	v001	None	
		FRONT	Seção da ponte_2	v001	None	
3.800000	3.800000	BACK	Seção da ponte_2	v002	None	
		FRONT	Seção da ponte_2	v002	None	
5.000000	5.000000	BACK	Seção da ponte_2	v002	None	
		FRONT	Seção da ponte_2	v002	None	
9.875000	9.875000	BACK	Seção da ponte_2	v002	None	
		FRONT	Seção da ponte_2_1	v002	None	
10.000000	10.000000	BACK	Seção da ponte_2_1	v002	None	
		FRONT	Seção da ponte_2_1	v002	None	
10.125000	10.125000	BACK	Seção da ponte_2_1	v002	None	
		FRONT	Seção da ponte_2	v002	None	

FONTE: O autor.

Para a modelagem das mísulas das longarinas, o *software* possui uma ferramenta onde é possível inserir tabelas de variações transversais e longitudinais com base em coordenadas x e y, como mostra a Figura 64. Essas variações são carregadas ao longo do comprimento da ponte, como uma configuração de modelagem, e, através disso, a seção é modelada conforme à função de variação imposta. Portanto, esses valores também são parametrizados e podem ser facilmente alterados conforme modificações de projeto.

Figura 64: Criação das mísulas das longarinas.

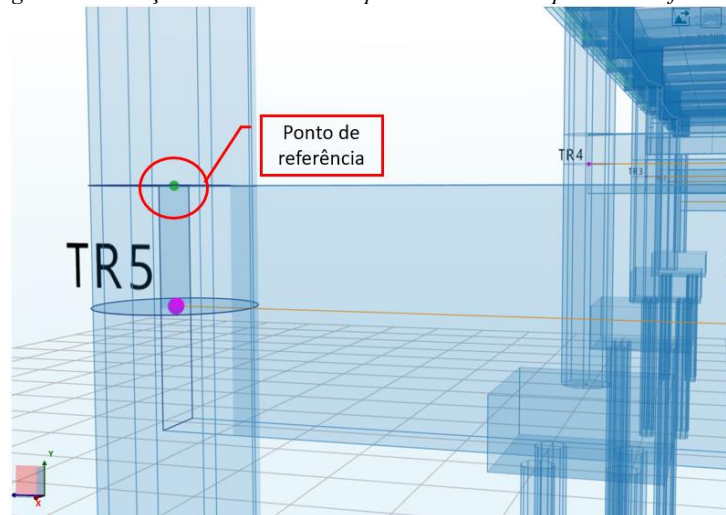


FONTE: O autor.

Para a modelagem da mesoestrutura, diferente da superestrutura, os elementos (pilar e travessa) foram modelados e inseridos no modelo separadamente. Foram criadas duas seções paramétricas, uma contendo a linha de pilares, composta por dois pilares circulares de 120 cm de diâmetro, e uma contendo a seção transversal da travessa. Os pilares foram carregados no modelo por meio da definição do *templates* dos apoios completos, incluindo os pilares, os

blocos e as estacas, compondo também a fundação. Já a travessa foi inserida nos pilares por meio de pontos de referência colocados em alturas especificadas em projeto, conforme Figura 65.

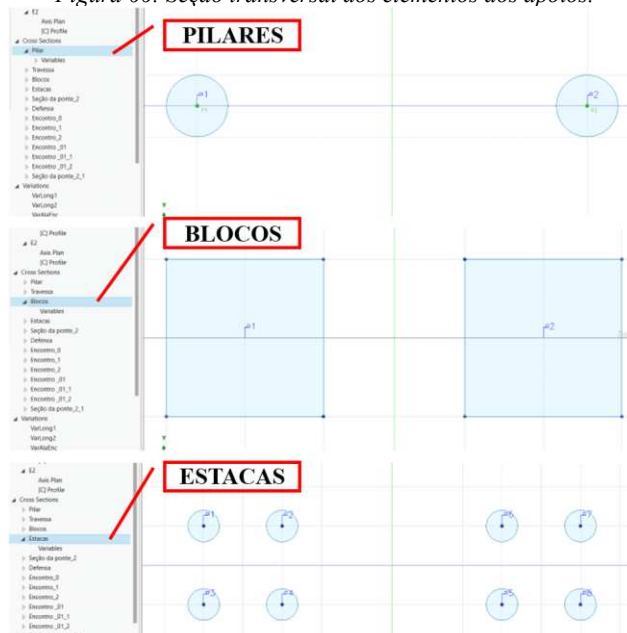
Figura 65: Inserção das travessas nos pilares através dos pontos de referência.



FONTE: O autor.

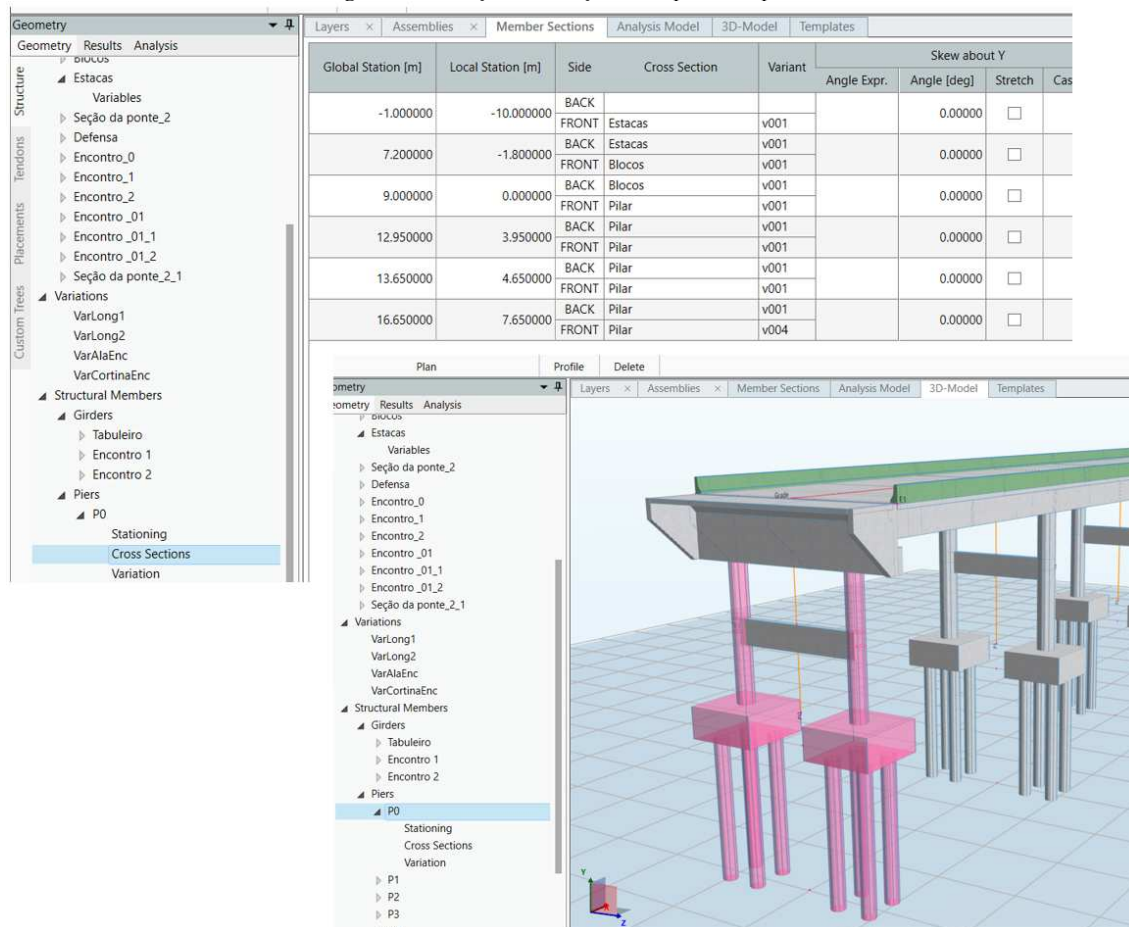
Para a modelagem dos apoios, inicialmente definiu-se as seções de todos os elementos (pilar, bloco de fundação e estacas), conforme a Figura 66, a partir dessas seções modelou-se os apoios completos definindo os "piers" combinando estas três seções em função de suas cotas superiores e inferiores. Como exemplo, o P0, mostrado na Figura 67, possui seção das estacas de -10,0 m até -1,8 m, seção de blocos de -1,80 m até 0,0 m e seção dos pilares de 0,0 m até 7,65 m.

Figura 66: Seção transversal dos elementos dos apoios.



FONTE: O autor.

Figura 67: Criação e inserção dos apoios da ponte.



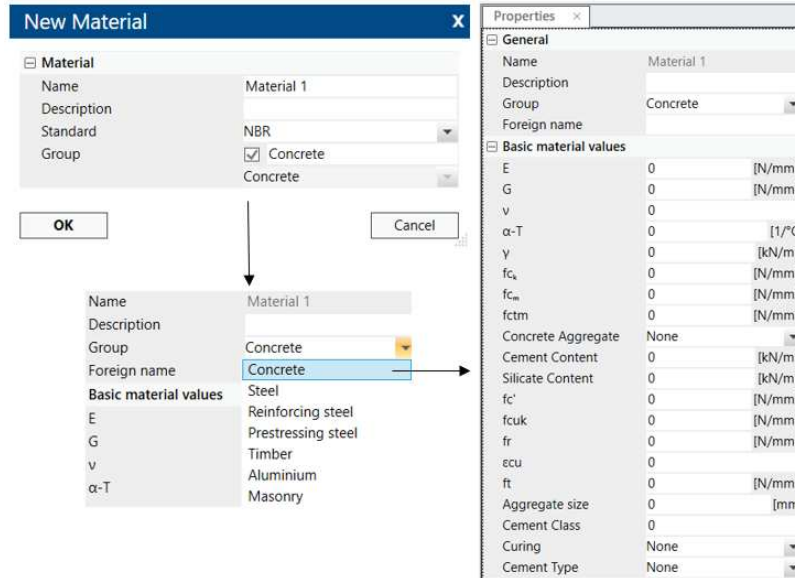
FONTE: O autor.

A partir daí, concluiu-se o desenvolvimento do modelo tridimensional da ponte. Porém, para que este modelo seja de fato caracterizado como um modelo BIM, é necessário carregá-lo com informações, como material utilizado, com suas propriedades físicas e a atribuição de entidades IFC que competem semântica aos elementos. Este processo pode tanto ser feito no Allplan Bridge, quanto no Allplan Engineer após a importação do modelo BIM por meio de vínculo direto entre os *softwares*. No caso do presente estudo, optou-se por dar continuidade a este processo no Allplan Bridge por ser um processo mais simples.

Para atribuir os materiais ao modelo, existem duas possibilidades, a primeira delas é a criação de um novo material em “*new material*”, como mostra a Figura 68, onde compete ao projetista a atribuição de todas as propriedades, como resistência, módulo de elasticidade entre outros. A segunda alternativa é a importação de um material pré-definido através da plataforma de colaboração BIMplus, um CDE desenvolvido pela Allplan para projetos elaborados a partir de modelos BIM de todas as disciplinas de construção, para todo o ciclo de vida. Neste caso, os materiais já vêm carregados com as informações intrínsecas a ele, que podem ser alteradas

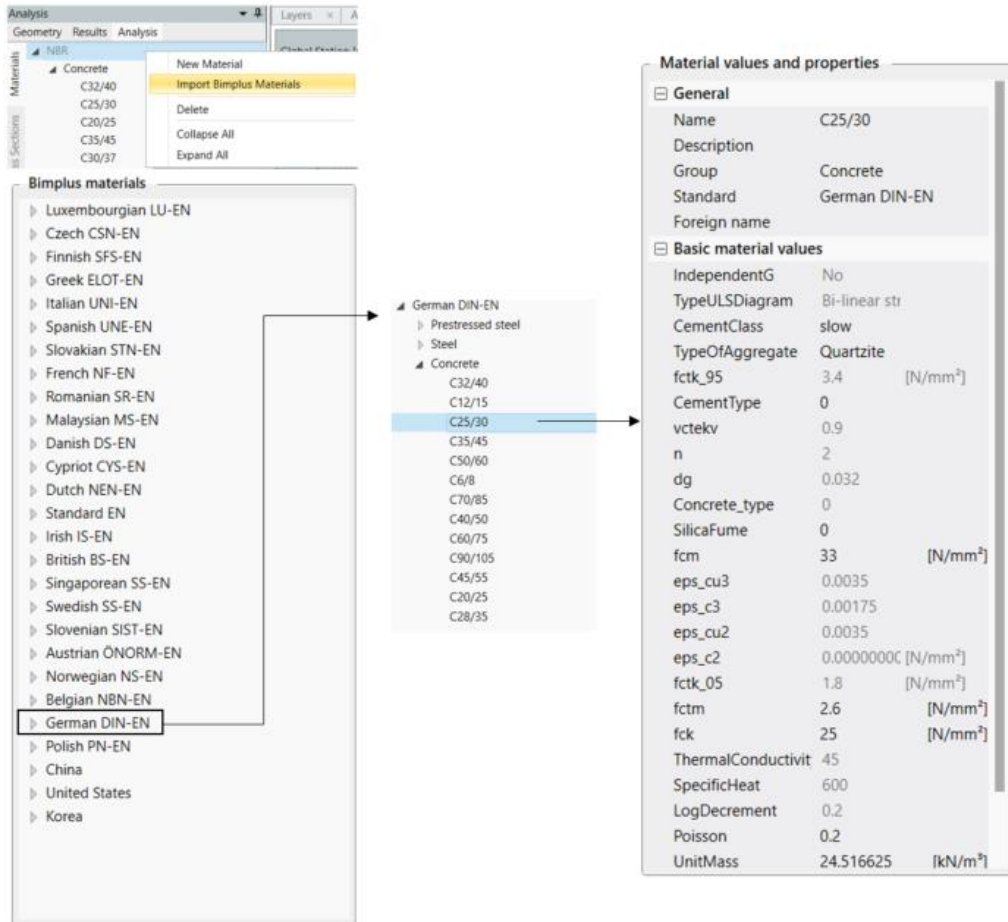
conforme necessidade, como por exemplo, a adequação as normas brasileiras, que não estão presentes dentro do catálogo de opções, como mostrado na Figura 69.

Figura 68: Criação de um novo material pelo Allplan Bridge 2024.



FONTE: O autor.

Figura 69: Materiais predefinidos no BIM Plus.



FONTE: O autor.

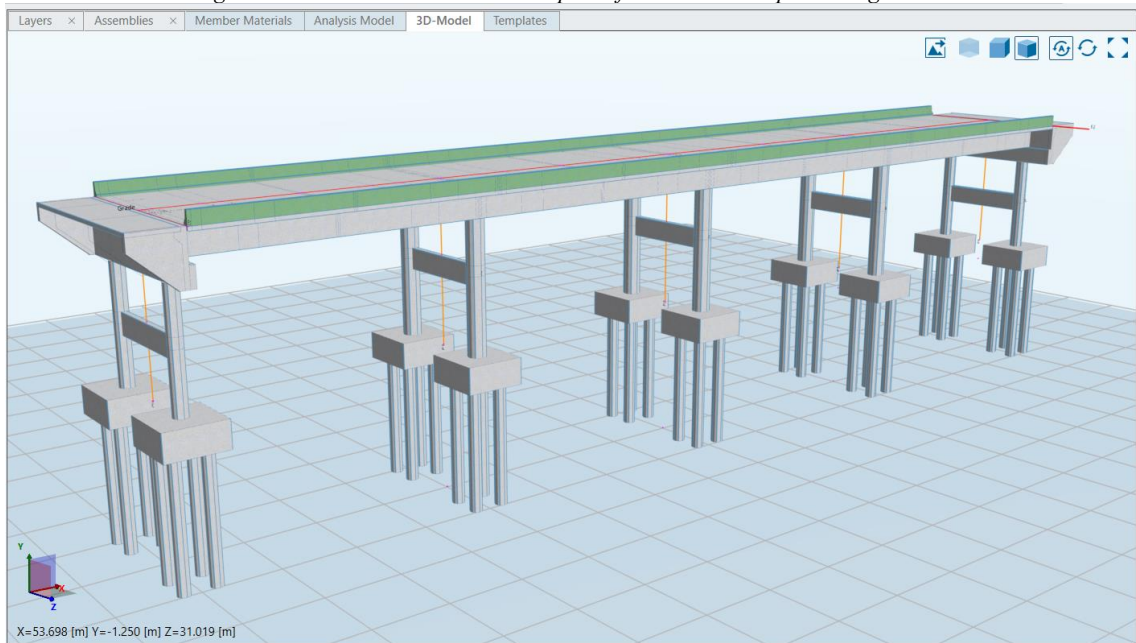
Para o projeto, optou-se por importar do BIMPlus materiais pré-definidos, já que não é escopo do trabalho a avaliação da influência do material sobre a integridade estrutural. Assim, três tipos de concretos foram selecionados a partir das especificações da variação das normas europeias (Eurocode) pelo Instituto Alemão de Normatização (DIN-EN), o concreto C20/25 (utilizado como material das defensas e estacas de fundação), o concreto C30/37 (utilizado como material da laje do tabuleiro, dos blocos de fundação, das lajes de transição e do encontro) e o concreto C35/45 (utilizado como material das longarinas, transversinas, travessa e pilares). A inserção do material aos elementos é feita como mostrado na Figura 70. O resultado final da modelagem é mostrado na Figura 71.

Figura 70: Inserção dos materiais nos apoios (pilares, blocos de fundação e estacas).

Global Station		Structural Unit 26		Structural Unit 27		Structural Unit 28		Structural Unit 11		Structural Unit 12		Structural Unit 1		Structural Unit 2	
Start [m]	End [m]	Material	Beam	Material	Beam	Material	Beam	Material	Beam	Material	Beam	Material	Beam	Material	
-1.000000	7.200000	NBR:C20/25		NBR:C20/25		NBR:C20/25									
7.200000	9.000000							NBR:C25/30		NBR:C25/30					
9.000000	12.950000											NBR:C35/45		NBR:C35/45	
12.950000	13.650000											NBR:C35/45		NBR:C35/45	
13.650000	16.650000											NBR:C35/45		NBR:C35/45	

FONTE: O autor.

Figura 71: Modelo tridimensional da ponte finalizado no Allplan Bridge 2024.



FONTE: O autor.

### 3.4.2. Atribuições das entidades IFC

A atribuição das entidades aos elementos modelados foi feita no Allplan Bridge. Apesar de também poder ser feita no Allplan Engineering, optou-se por desenvolver esta etapa no *software* de modelagem, por ser mais simples e intuitivo quando comparado ao *software* de detalhamento da Allplan. Como já mencionado o Allplan Bridge não é um *software* BIM, mesmo assim, contempla a atribuição de entidades e parâmetros IFC ao modelo.

Apesar desta funcionalidade, algumas entidades não são contempladas nem pelo Allplan Bridge nem pelo Allplan Engineering. Em ambos os *softwares* não foi possível a identificação das entidades *IfcCurtainWall* (utilizada para os encontros) e *IfcBeam* – Diaphragm (utilizada para as transversinas). Assim, como alternativa, definiu-se a entidade *IfcWall* – *SolidWall* para os encontros e a entidade *IfcBeam* para as transversinas. Ainda para esta etapa, definiu-se uma descrição para cada elemento, como mostra a Tabela 6 .

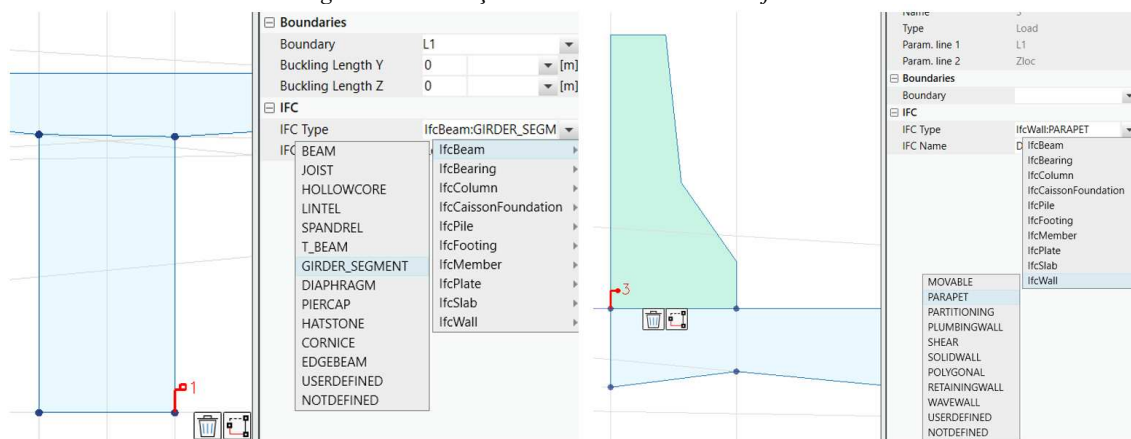
Tabela 6: Entidades IFC de cada elemento da ponte.

ELEMENTOS ESTRUTURAIS	ENTIDADES IFC	DESCRIÇÃO DO ELEMENTO
Bloco de Fundação	<i>IfcFooting - Pilecap</i>	Bloco_Fundação
Estacas	<i>IfcPile - Driven</i>	Estaca_cravada
Pilar	<i>IfcColumn</i>	Pilar_circular
Travessa	<i>IfcBeam - Piercap</i>	Travessa_intermed. / Travessa_encontro
Encontro	<i>IfcWall - SolidWall</i>	Cortina_encontro/Ala_encontro
Longarina	<i>IfcBeam - Girder Segment</i>	Longarina 1 / Longarina 2
Transversina	<i>IfcBeam</i>	Transversina
Laje	<i>IfcSlab - Floor</i>	Laje_tabuleiro
Laje de transição	<i>IfcSlab - Floor</i>	Laje_transição
Defensas	<i>IfcWall - Parapet</i>	Defensa 1 / Defesa 2

FONTE: O autor.

A atribuição das entidades no Allplan Bridge 2024 é bem semelhante ao Revit 2024, porém só é possível ser feita através das seções transversais (*CrossSections*) definidas no início da modelagem, diferente do Revit 2024 que permite que a atribuição seja feita também selecionando o elemento da visualização 3D. Ao selecionar a seção do elemento aparece na barra de propriedades o item de configuração IFC dos elementos do modelo, como apresentado na Figura 72, que mostra como exemplo as longarinas e defensas.

Figura 72: Atribuição das entidades IFC aos objetos modelados.



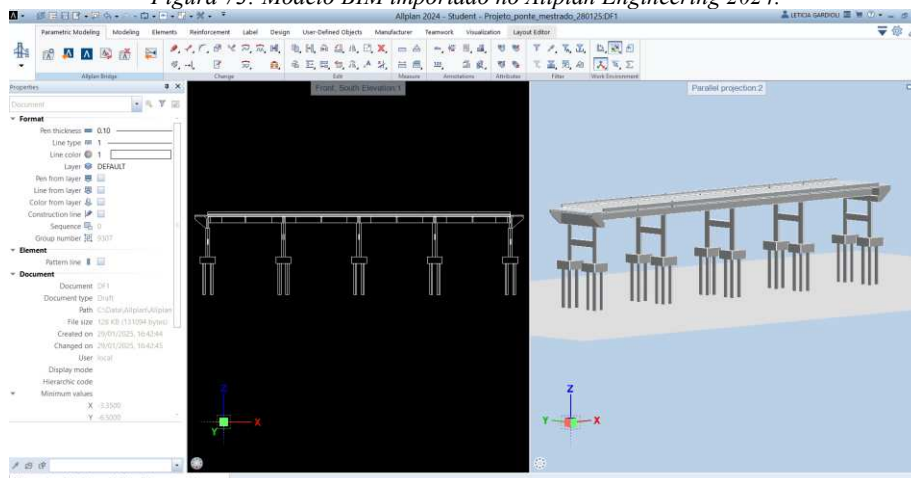
FONTE: O autor.

Apesar de parecer uma configuração simples, é através desse processo que os elementos da ponte se tornam semanticamente definidos, possibilitando que sejam transferidos para outros *softwares* através de arquivos neutros. Feito isso, é possível proceder a configuração de importação através do Allplan Engineering, que, neste caso, trabalha como ponte entre o *software* de modelagem e os demais *softwares* a serem analisados.

### 3.4.3. Configuração de importação IFC

Após finalizada a modelagem, o arquivo é importado no Allplan Engineering 2024, que possui vínculo direto com o Allplan Bridge 2024, já que um *software* é complementar ao outro. Na Figura 73 é mostrado como a modelagem chega ao Allplan Engineering, com todas as atribuições e informações carregadas e devidamente armazenadas. Através do Allplan Engineering 2024, portanto, se dá a configuração do arquivo .ifc.

Figura 73: Modelo BIM importado no Allplan Engineering 2024.

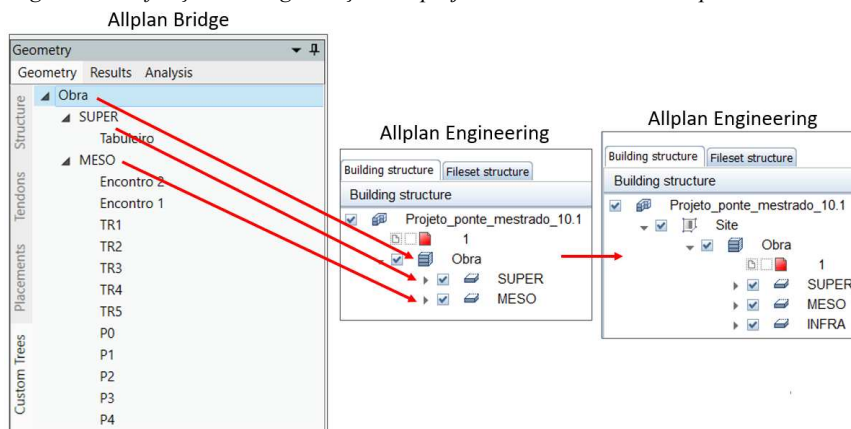


FONTE: O autor.

Para que seja possível a exportação, é necessário primeiramente, atribuir uma região onde a obra, no caso a ponte, esta locada. Em outras palavras, é necessário atribuir o local de onde será erguida a construção, uma espécie de canteiro de obras. Para isso é necessário definir a entidade *IfcSite*, que, segundo a *BuildingSMART*, caracteriza um local ou área definida de um terreno no qual a construção, definida como *IfcProject*, será georreferenciada. (*BuildingSMART*, 2025c)

No Allplan Engineering esta definição é feita na árvore de projetos criada automaticamente ao abrir o projeto vindo do Allplan Bridge, desde que as divisões de níveis tenham sido feitas no ato da modelagem, como mostram as imagens à esquerda e ao meio na Figura 74. Caso contrário, é necessário defini-los no Allplan Engineering, que é um processo simples. Como o apoio foi feito de forma única, através do template “*Pier*” que contém os pilares e a fundação (blocos e estacas), na árvore de projeto do Allplan Engineering 2024 também é esta a organização que aparece, porém, é possível editar essa informação e subdividir os elementos em superestrutura, mesoestrutura e infraestrutura, de modo a organizar e agrupar os elementos estruturais, como apresentado à direita na Figura 74.

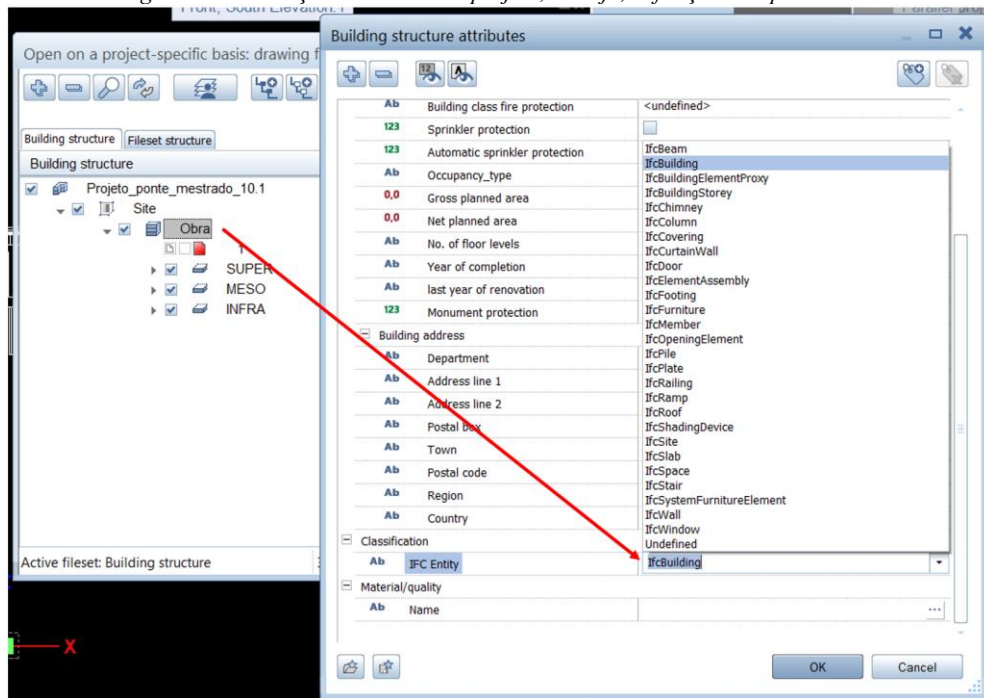
Figura 74: Definição das organizações de projeto de acordo com as etapas construtivas.



FONTE: O autor.

Em relação a organização do IFC, agora o modelo passa a ter semântica aprimorada, uma vez que a obra, composta por super, meso e infraestrutura, está contida em um terreno, definido como *IfcSite*. A partir dessas configurações o *software* permite a exportação através do formato IFC. Aqui cabe ressaltar a impossibilidade de definir o modelo semanticamente como uma ponte, já que nas opções de entidades apresentadas pela versão do *software* utilizada, mostradas na Figura 75, só é possível definir o projeto como *IfcBuilding*, não como *IfcBridge*. Essa informação é importante pois pode influenciar na leitura do arquivo feita pelos *softwares* receptores, principalmente no caso dos *softwares* específicos de pontes.

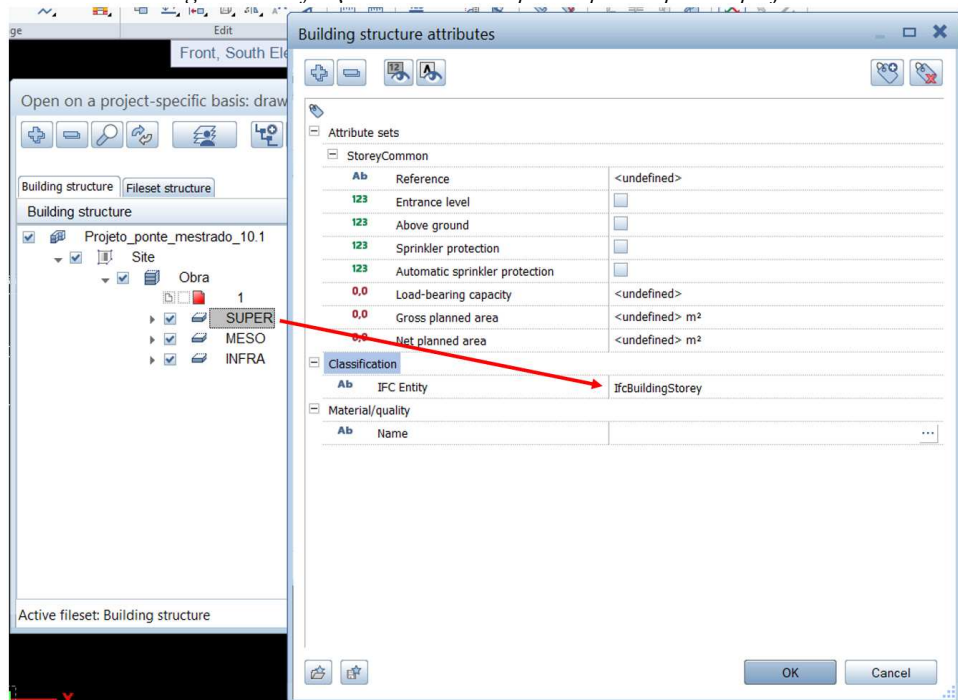
Figura 75: Atribuição semântica ao projeto, ou seja, definição do tipo de obra.



FONTE: O autor.

As subdivisões (super, meso e infraestrutura) são definidas pelo próprio *software* como *IfcBuildingStorey*, como mostra a Figura 76, entendendo que se tratam das partes que compõem o projeto como um todo. Assim, essas definições são feitas de forma automática e não precisam ser alteradas. Novamente, o erro semântico é levado para as subdivisões do modelo que são classificadas como partes de um edifício.

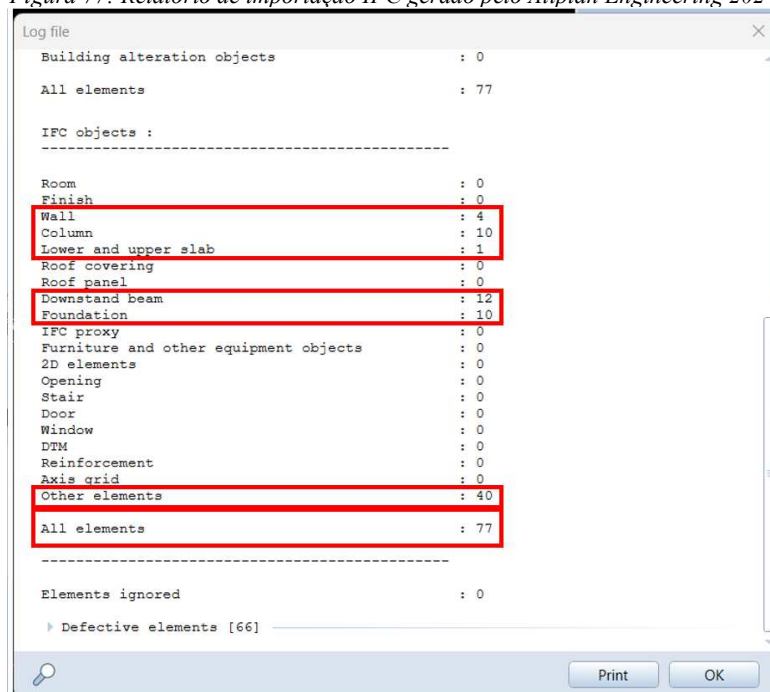
Figura 76: Definição semântica das partes que compõem o projeto.



FONTE: O autor.

Após configuração das informações necessárias à exportação, o arquivo .ifc foi gerado. No relatório apresentado pelo Allplan Engineering 2024 mostrado na Figura 77, pode-se perceber que alguns erros surgiram no ato da exportação. Apenas uma laje foi quantificada das três definidas no modelo BIM (a laje do tabuleiro e as duas lajes de transição), e surgiram dois elementos de viga que não foram definidos, já que no modelo do Allplan Bridge 2024 foram classificados como vigas as 2 longarinas, 7 travessas e as transversinas que foram todas agrupadas dentro de um conjunto “IfcBem – Transversinas”, totalizando 10 grupos de vigas. Outro erro apontado no relatório está no fato de 40 objetos serem caracterizados como “Other Elements”, que seriam as 40 estacas de fundação que não foram traduzidas corretamente.

Figura 77: Relatório de importação IFC gerado pelo Allplan Engineering 2024.



Object Type	Count
Building alteration objects	: 0
All elements	: 77
IFC objects :	
-----	
Room	: 0
Finish	: 0
Wall	: 4
Column	: 10
Lower and upper slab	: 1
Roof covering	: 0
Roof panel	: 0
Downstand beam	: 12
Foundation	: 10
IFC proxy	: 0
Furniture and other equipment objects	: 0
2D elements	: 0
Opening	: 0
Stair	: 0
Door	: 0
Window	: 0
DTM	: 0
Reinforcement	: 0
Axis grid	: 0
Other elements	: 40
All elements	: 77
-----	
Elements ignored	: 0
▶ Defective elements [66]	

FONTE: O autor.

Apesar destes erros apontados no relatório gerado pelo Allplan Engineering 2024, é curioso perceber que ao importar o arquivo .ifc tanto nos softwares analisados, quanto nos validadores utilizados, estes erros não são percebidos e todos os elementos foram corretamente lidos, como será mostrado na sequência do estudo.

#### 3.4.4. Validação do arquivo .ifc

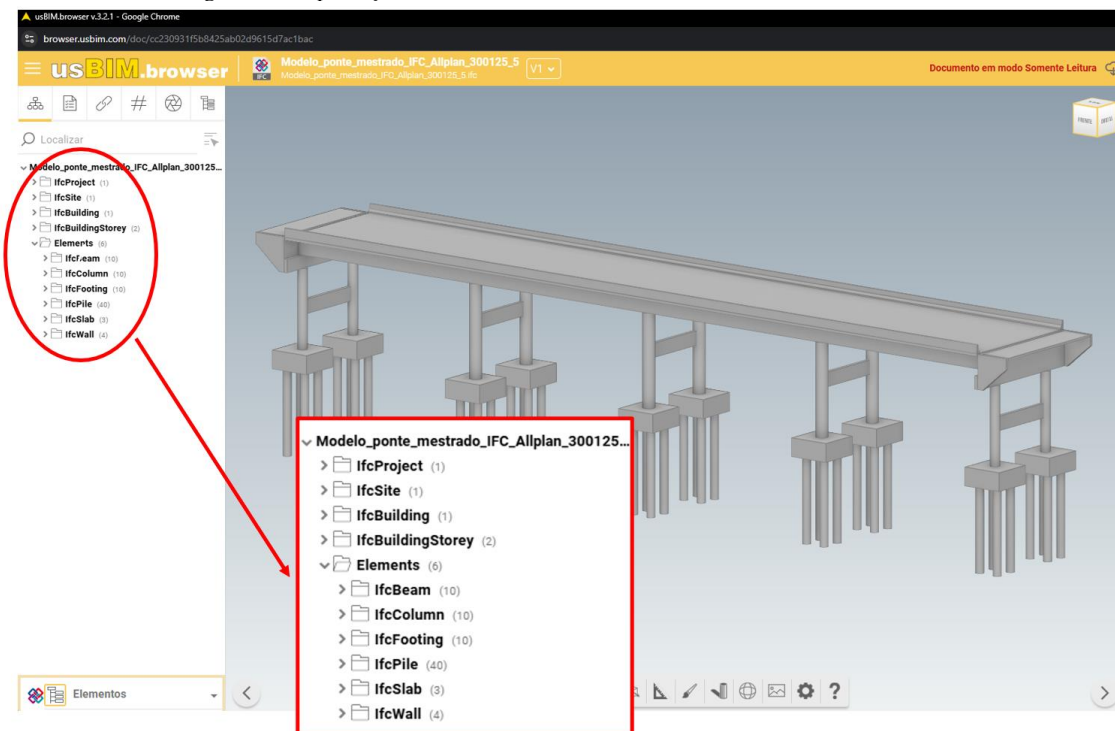
Após exportação do arquivo .ifc, assim como feito na Etapa 2 do desenvolvimento metodológico, é necessário validá-lo, de modo a garantir a qualidade e integridade das informações armazenadas. Assim, inicialmente é feita a validação visual, utilizando um

visualizador de IFC. Novamente, utilizando o visualizados UsBIM.browser. O resultado obtido é mostrado na Figura 78.

Através da visualização do arquivo em um visualizador de IFC regulamentado pela *BuildingSMART* (2024d), é possível notar que os elementos definidos no *software* de modelagem foram corretamente exportados, tanto em relação a geometria quanto em relação à semântica atribuída. Nota-se através da Figura 78 que o visualizador conseguiu reconhecer 10 elementos de viga, 10 elementos de coluna, 10 elementos de fundação, 40 estacas, 03 lajes e 04 elementos de parede, exatamente a mesma quantidade definida no Allplan Bridge 2024.

A Figura 78 também mostra que, apesar de ter sido redefinido infra, meso e superestrutura no Allplan Engineering 2024 como as partes que compõem o projeto, o arquivo .ifc armazenou as informações iniciais apenas contendo super e mesoestrutura. Isso pode ter ocorrido por algum erro na atribuição dessas subdivisões por parte do projetista ou pela forma como as informações foram organizadas e armazenadas nas definições internas do *software*. Outras tentativas de configuração do IFC foram feitas, porém este erro persistiu e, como não é algo que irá interferir nas análises futuras, foi utilizada a configuração inicial feita pelo Allplan Bridge 2024, ficando a reorganização das partes da ponte, uma sugestão para novos desenvolvimentos de projeto.

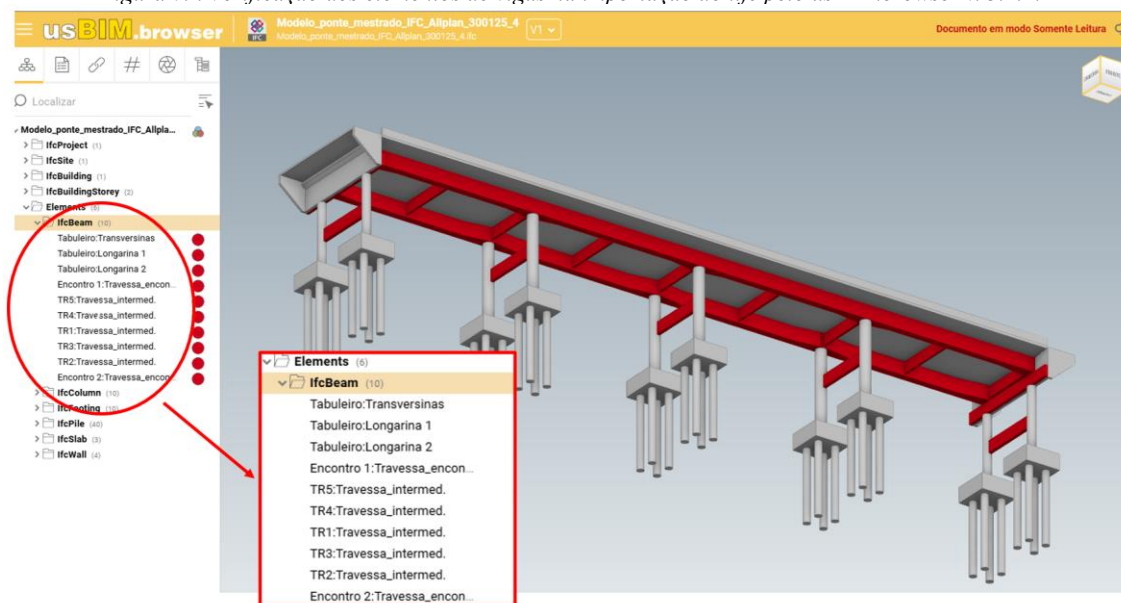
Figura 78: Importação do modelo BIM no visualizador do IFC usBIM.browser v. 3.2.1.



FONTE: O autor.

Através do visualizador é possível notar também que as descrições atribuídas aos elementos foram corretamente exportadas, como exemplo, a Figura 79 mostra os elementos de vigas que, apesar de serem caracterizados como *IfcBeam*, são individualizados de acordo com os nomes que os foram atribuídos. Isso possibilita avaliar se as nomenclaturas definidas para caracterizar cada elemento também serão lidas e interpretadas pelos *softwares* que irão receber o arquivo.

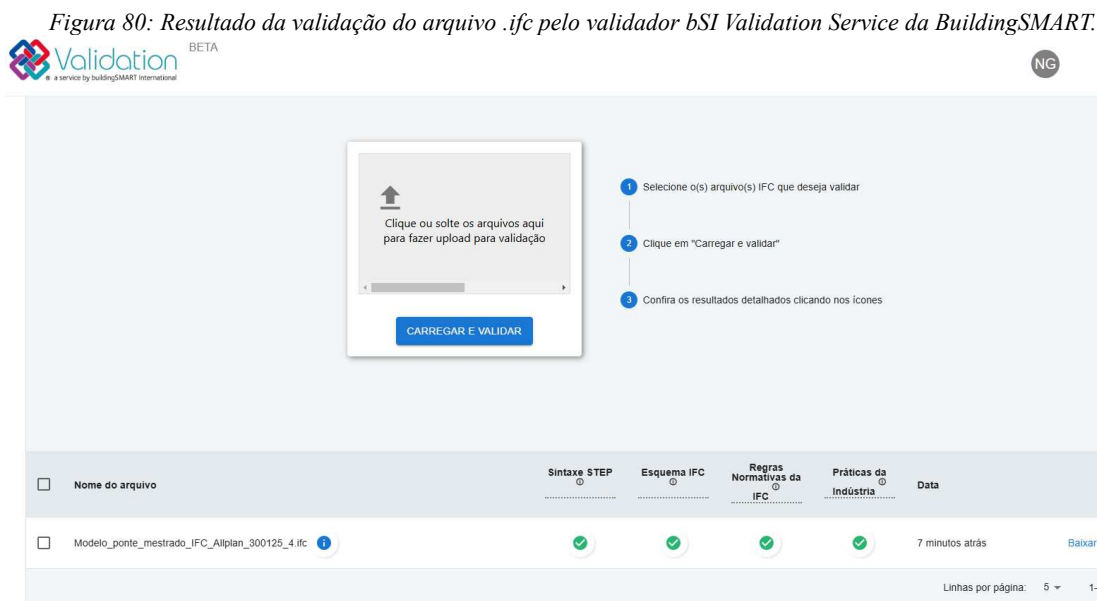
Figura 79: Verificação dos elementos de vigas na importação do .ifc pelo usBIM.browser v. 3.2.1.



FONTE: O autor.

Após a validação visual, é feita a validação do código a validação IFC, de modo a garantir que o arquivo possua estrutura de dados, ou esquema, conforme especificado pela *BuildingSMART* para que possa ser, de fato, caracterizado como um arquivo neutro e aberto. Para tal, assim como feito na etapa metodológica anterior, utilizou-se o validador de arquivos .ifc da própria *BuildingSMART* denominado *bSI Validation Service*, que varre o código gerado ao criar o arquivo e o avalia segundo os seguintes critérios definidos pela *BuildingSMART* (*BuildingSMART*, 2024d):

- Sintaxe do arquivo físico STEP;
- Esquema IFC atualizado, incluindo proposições formais e funções codificadas na linguagem de esquema EXPRESS;
- Regras normativas da especificação IFC;
- Práticas industriais e relação a condutas e designações comuns dentro da indústria AEC que não são necessariamente erros, mas que são apontados como aviso pelo validador.



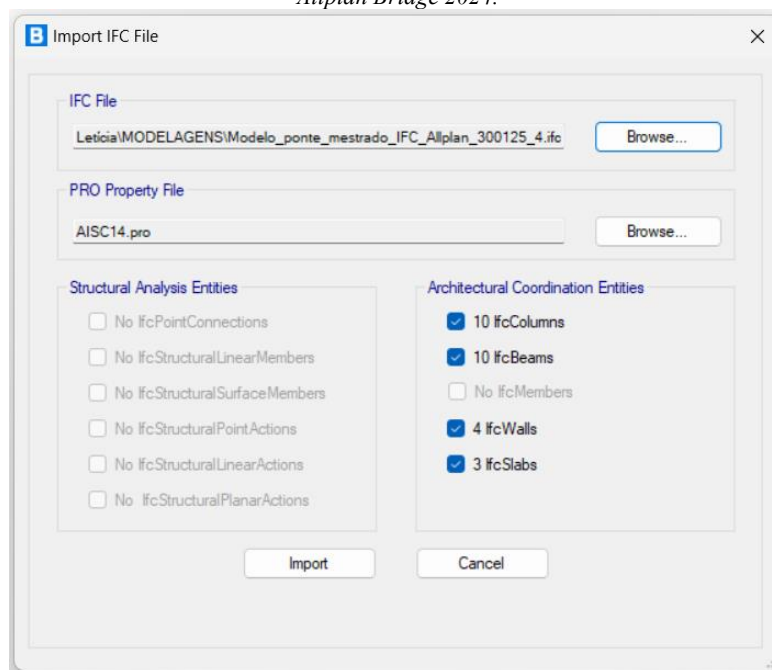
FONTE: BuildingSMART (2024d).

O resultado da validação do código IFC é mostrado na Figura 80. Pode-se perceber através da imagem que nenhum erro foi identificado ao varrer o código do arquivo, diferente do que aconteceu na Etapa 2 do desenvolvimento metodológico. Assim, a qualidade do arquivo e a confiabilidade das informações contidas nele são asseguradas. Desta forma, é possível prosseguir com a importação do arquivo pelos *softwares* a serem analisados.

### 3.4.5. Importação pelo CSIBridge 2024

No CSIBridge 24, após importar o arquivo .ifc tem-se o relatório de importação do *software* representado na Figura 81, Verifica-se que foram identificados 10 entidades *IfcColumns*, 10 *IfcBeams*, 4 *IfcWalls* e 3 *IfcSlabs*. Ou seja, todos os pilares, vigas, paredes e lajes definidos no modelo BIM foram identificados. Novamente chama-se atenção para o tipo de importação, determinado pelo tipo de MVD utilizado, no caso, o *Coordination View*, já que, como mencionado anteriormente, não é possível o vínculo através de um MVD voltado para fins estruturais. Isso explica o fato de nenhuma entidade relacionada à análise estrutural, definido pelo CSIBridge 24 como *Structural Analysis Entities* ser identificada no ato da importação.

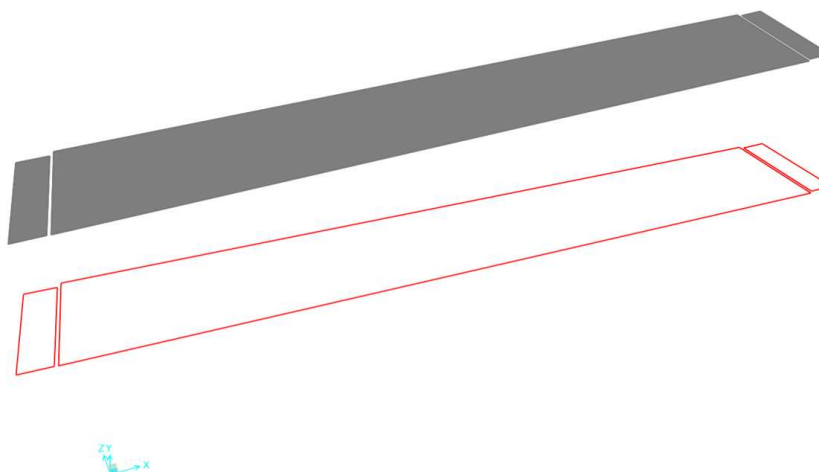
Figura 81: Relatório de importação gerado pelo CSIBridge 2024 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM gerado no Allplan Bridge 2024.



FONTE: O autor.

Apesar do relatório de importação trazer a identificação de entidades que definem pilares, vigas, lajes e parede, ao abrir a interface de modelagem do *software*, apenas as lajes definidas (laje do tabuleiro e lajes de transição) foram geometricamente representadas. Além disso, a geometria desses elementos apresentou deficiência, não tendo a espessura representada, ou seja, foram traduzidos apenas como elementos planos, como representado na Figura 82.

Figura 82: Resultado da representação geométrica pelo CSIBridge 2024 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM gerado no Allplan Bridge 2024.

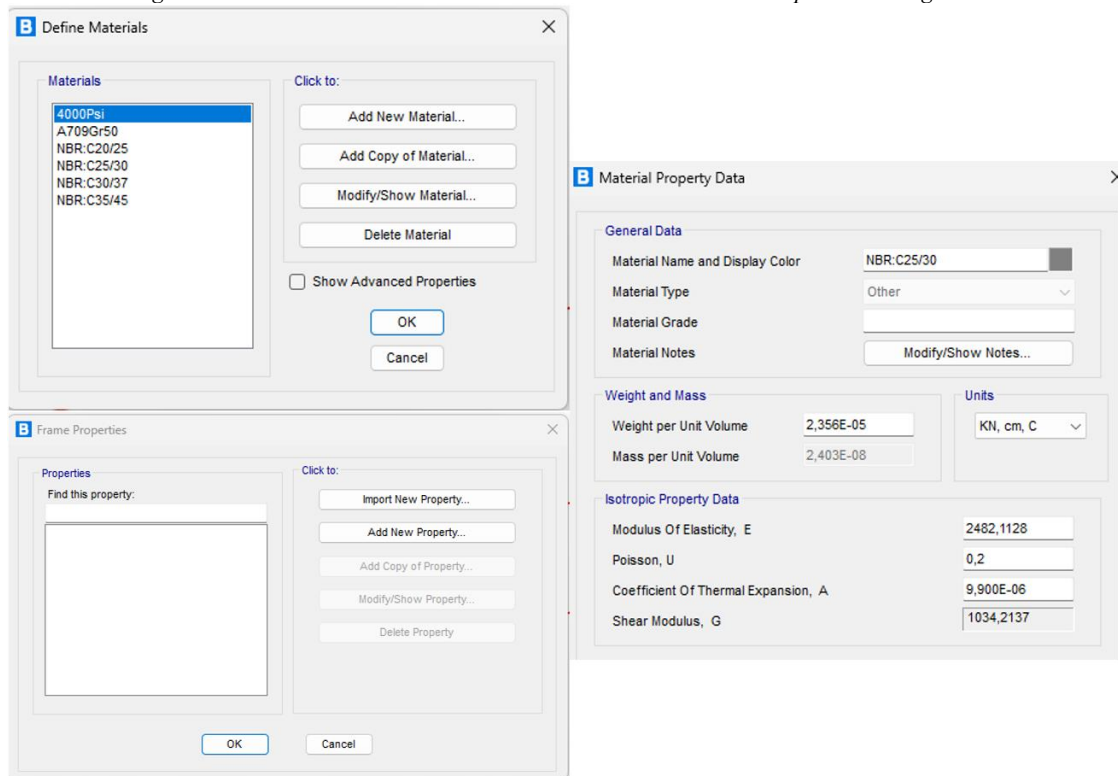


FONTE: O autor.

Apesar da reprodução tridimensional deficiente, os materiais associados ao elementos foram identificados pelo CSIBridge, como mostrado na Figura 83. Todos os materiais

atribuídos ao modelo BIM foram importados e algumas de suas propriedades interpretadas. Entretanto, o *software* analisado não conseguiu identificar que tais materiais tratam-se de tipos de concreto, isso fica claro ao observar o item “*Material Type*”, que não possui especificação definida.

Figura 83: Reconhecimento dos materiais associados aos elementos pelo CSIBridge 2024.

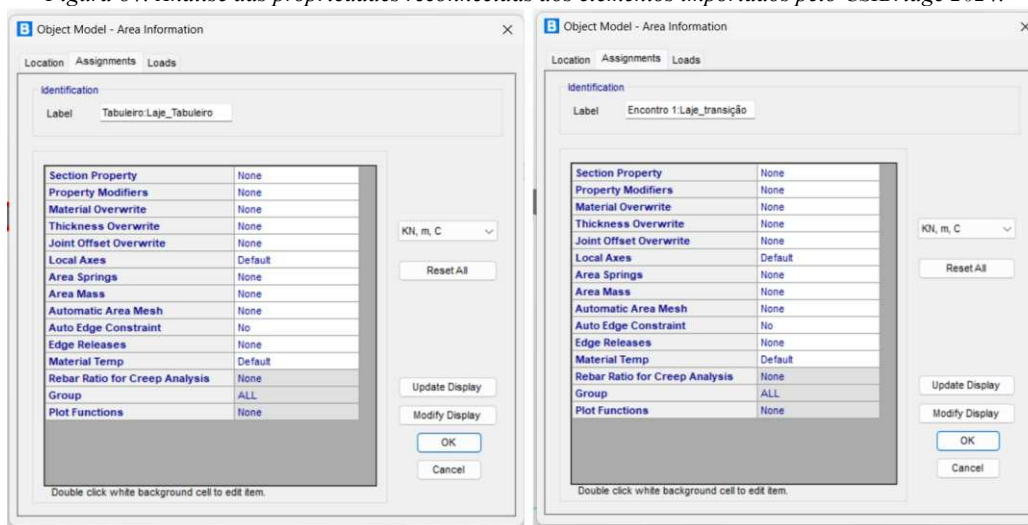


FONTE: O autor.

Diferente do que ocorreu na importação do arquivo .ifc gerado a partir do modelo BIM desenvolvido no Revit 2024, não foram identificadas nenhuma das seções transversais definidas, de nenhum elemento modelado, como pode ser visto na janela de *Frame Properties* mostrada na Figura 83.

Apesar das seções das lajes terem sido geometricamente representadas, ao abrir as propriedades de cada uma delas, mostradas na Figura 84, percebe-se que apenas a descrição dos elementos foram devidamente atribuídas (“Tabuleiro: Laje\_tabuleiro” e “Encontro 1/2: Laje\_transição”). Nenhum dos materiais aplicados aos elementos estruturais foram atribuídos, além de não ser possível a extração de dados como largura, comprimento e área dos elementos que foram representados. Ou seja, são apenas seções planas genéricas.

Figura 84: Análise das propriedades reconhecidas dos elementos importados pelo CSIBridge 2024.



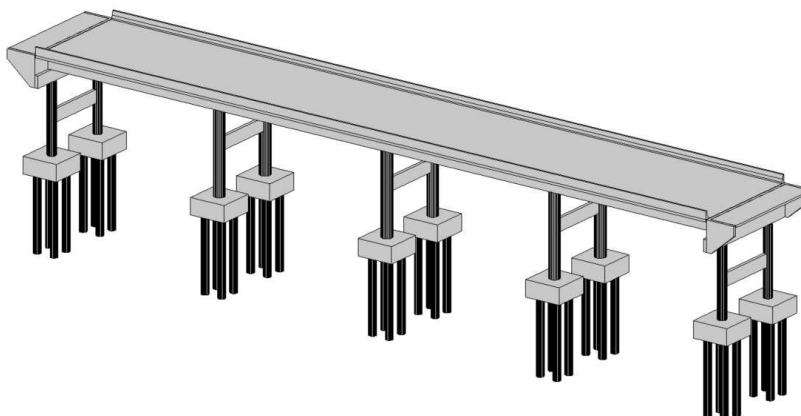
FONTE: O autor.

Percebe-se que tanto no caso da importação do arquivo .ifc gerado a partir do modelo BIM produzido no Revit 2024 quanto no caso do arquivo .ifc gerado por meio do modelo BIM produzido no Allplan Bridge, os resultados obtidos pela análise da importação pelo CSIBridge são defasados perante as potencialidades do fluxo OpenBIM, independente do *software* de modelagem utilizado para gerar o arquivo em formato neutro.

### 3.4.6. Importação pelo Revit

No caso da importação pelo Revit 2024, utilizou-se a mesma versão do *software* empregado na modelagem da ponte produzida na etapa 2 do desenvolvimento metodológico. Como pode-se notar por meio da Figura 85, o modelo tridimensional da ponte chegou completo, com todos os elementos representados. Algumas linhas foram importadas em excesso, oriundas da modelagem no Allplan Bridge 2024, porém elas podem ser facilmente retiradas já que todos os elementos podem ser selecionados e alterados individualmente.

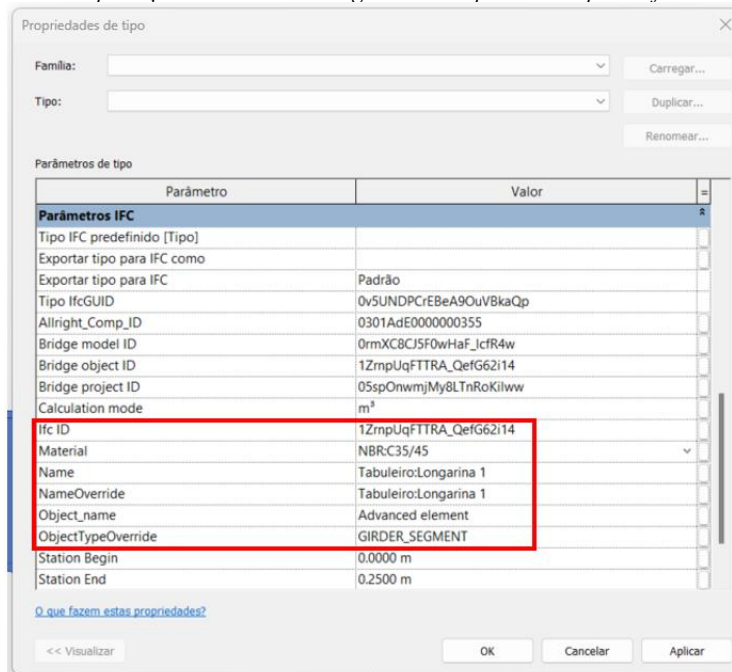
Figura 85: Resultado da representação geométrica pelo Revit 2024 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM gerado no Allplan Bridge 2024.



FONTE: O autor.

No Revit 2024 todas as entidades definidas no modelo BIM foram reconhecidas, inclusive algumas informações que se esperavam não ser transferidas. Por exemplo, a predefinição *Girder Segment* aplicada às longarinas, que as diferenciam de vigas convencionais. Esta especificação só foi implementada nas atualizações mais recentes do IFC, portanto, apesar de ser aplicada às longarinas no modelo BIM, não era previsto que fosse devidamente armazenada ao realizar a exportação na versão IFC 2x3 2.0. Entretanto, ao analisar as informações traduzidas pelo Revit 2024, pode-se perceber na Figura 86, que o arquivo .ifc armazenou a informação e o Revit 2024 foi capaz de interpretá-la, bem como a descrição do elemento e o material empregado a ele.

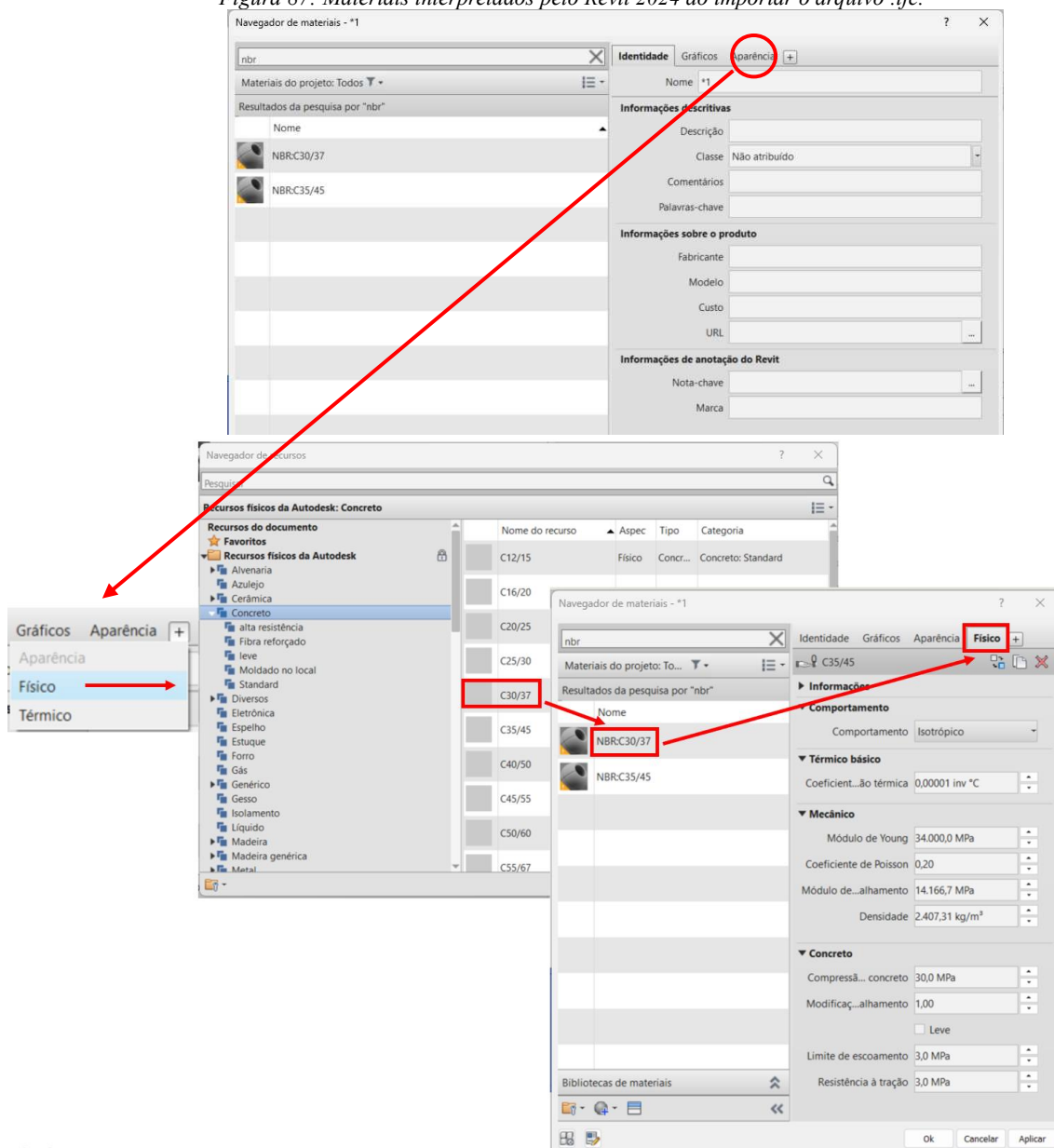
Figura 86: Interpretação semântica da longarina ao importar o arquivo .ifc no Revit 2024.



FONTE: O autor.

Em relação aos materiais houveram algumas intercorrências na importação. Dos quatro materiais utilizados na modelagem BIM, apenas dois foram reconhecidos ao importar o arquivo .ifc pelo Revit 2024, mostrados na Figura 87. Além disso, as propriedades físicas e mecânicas não foram carregadas, apenas a descrição e a aparência gráfica foram importadas. Apesar disso, foi possível alterar as informações desses materiais para acrescentar suas propriedades seguindo o passo-a-passo mostrado também na Figura 87. É importante ressaltar que este processo se caracteriza como retrabalho e pode ser passível de erros oriundos de atualizações do material em algum dos modelos ou incoerências nos valores ao repassá-los para o Revit 2024 caso não se tenha disponível o modelo BIM de origem.

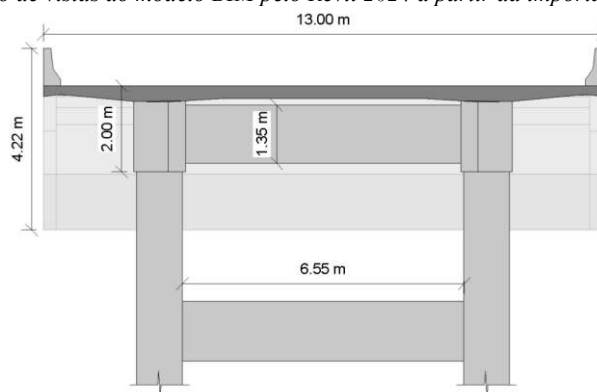
Figura 87: Materiais interpretados pelo Revit 2024 ao importar o arquivo .ifc.



FONTE: O autor.

Apesar do obstáculo encontrado, outros aspectos positivos foram observados, como por exemplo, a viabilidade de gerar as pranchas de documentação, sendo possível cotar os elementos, gerar vistas, configurar as visualizações para criar camadas de sobreposição, alterar escala, entre outras manipulações utilizadas para melhorar a apresentação gráfica do projeto, como apresentado na Figura 88. Apesar do Allplan Engineering ser um *software* voltado para a modelagem e detalhamento executivo, é interessante saber que existe a possibilidade de, a partir de um formato neutro, realizar esta etapa de projeto em outro *software* que não seja vinculado diretamente ao Allplan Bridge 2024.

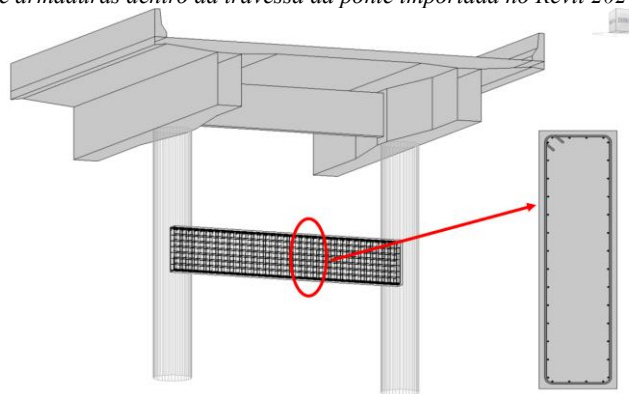
Figura 88: Criação de vistas do modelo BIM pelo Revit 2024 a partir da importação do arquivo .ifc.



FONTE: O autor.

Além disso, outro interessante aspecto observado foi a possibilidade de detalhar as armaduras dentro dos elementos contidos no modelo BIM importado através do IFC e importados no Revit 2024. Na Figura 89 é mostrado um exemplo de armaduras inseridas dentro de uma das travessas intermediárias, sendo possível definir cobrimentos e restringir as armaduras ao elemento a qual foram inseridas, novamente mostrando que o intercâmbio de informações entre o Allplan e o Revit através do IFC se deu de forma satisfatória, ainda que utilizando a versão do IFC 2x3 2.0.

Figura 89: Inserção de armaduras dentro da travessa da ponte importada no Revit 2024 através do vínculo IFC.



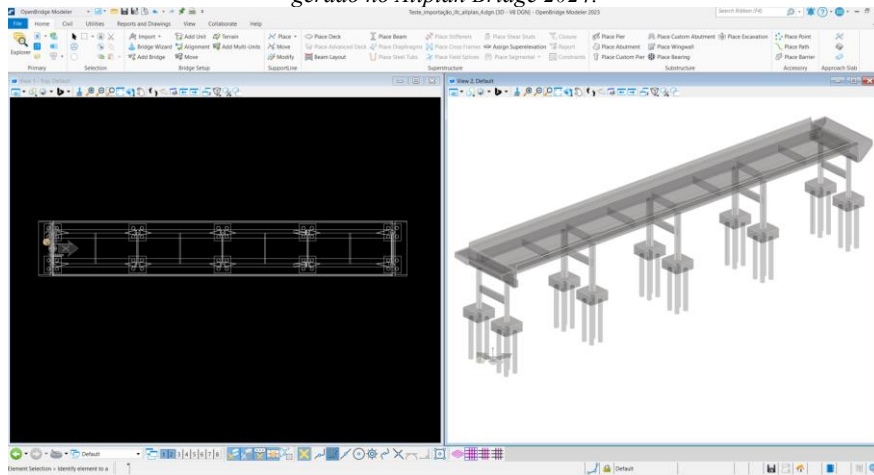
FONTE: O autor.

Apesar da vantagem observada na inserção das armaduras, é possível notar também através na Figura 89 que alguns elementos não foram importados como sólidos maciços, como as longarinas e a laje do tabuleiro. Nestes casos não foi possível a inserção de armaduras corretamente nem a quantificação do volume de material, e peso da estrutura. Tendo em vista que a mesma rotina de modelagem foi utilizada em todos os elementos criados no Allplan Bridge 2024, acredita-se que o problema não tenha origem na modelagem, porém cabe aqui, um viés para aprofundamentos futuros nesse vínculo entre *softwares* através do IFC.

### 3.4.7. Importação pelo OpenBridge Designer 2023

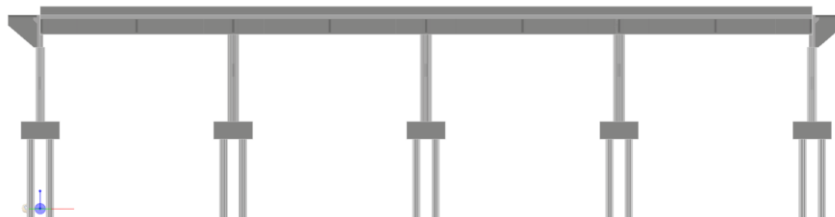
No caso da importação pelo OpenBridge Designer 2023, o modelo tridimensional gerado, apresentado na Figura 90, se mostra visivelmente completo, com todas as geometrias apresentadas. Além disso, assim como na etapa metodológica anterior, o *software* gerou a planta baixa do modelo, de acordo com a orientação de seus eixos globais, além de também ser possível gerar as vistas laterais, como mostrado na Figura 91. Como já comentado, o *software* não fornece um relatório de importação, porém através do modelo tridimensional é possível fazer algumas verificações com base em suas propriedades.

Figura 90: Resultado da representação geométrica pelo OpenBridge Design 2023 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM gerado no Allplan Bridge 2024.



FONTE: O autor.

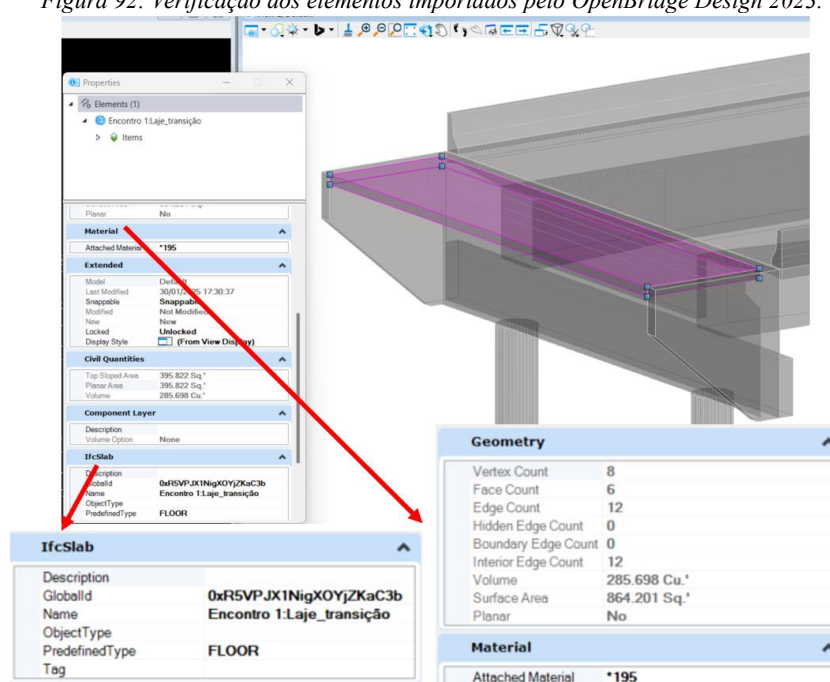
Figura 91: Vista lateral da ponte importada através do vínculo IFC pelo OpenBridge Design 2023.



FONTE: O autor.

Ao selecionar os elementos importados e abrindo a janela de propriedades, como mostra a Figura 92, é possível notar que a entidade IFC definida ao elemento é interpretada pelo *software*, assim como a descrição atribuída a ele e a predefinição de tipo. A partir disso foi possível identificar que todos os elementos foram importados com semântica correta, de acordo com o especificado ao gerar o .ifc a partir do modelo BIM.

Figura 92: Verificação dos elementos importados pelo OpenBridge Design 2023.



FONTE: O autor.

Entretanto, assim como no caso dos demais *softwares*, com exceção do CSIBridge 2024, os materiais não foram importados. No caso do OpenBridge Design 2024, o material associado a todos os elementos que compõe a ponte foi um material desconhecido, que não é default do *software*, ou seja, não é um material padrão. Percebe-se até aqui uma dificuldade no intercâmbio desse tipo de informação.

De forma semelhante às outras análises, percebe-se que a principal vantagem neste fluxo é a cooperação entre projetistas para fins de visualização e compatibilização, poucas informações são extraídas do modelo importado, porém a geometria é útil para gerar detalhamentos e servir de base para futuros desenvolvimentos de outras disciplinas de projeto.

### 3.4.8. Importação pelo Scia Engineer 22.1

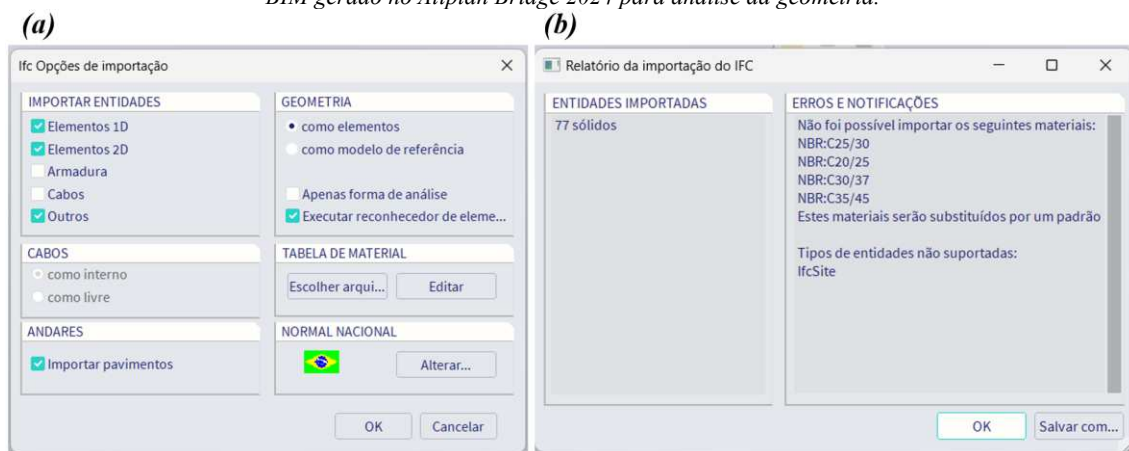
Em relação ao Scia Engineer 22.1, é interessante ressaltar que este *software* é gerenciado pela Nemetschek Company, mesmo grupo do Allplan, assim, estes *softwares* possuem vínculo direto a partir do formato de arquivo nativo de cada um deles. Com isso, espera-se que o vínculo através do IFC seja também satisfatório, já que a linguagem computacional e a rotina de modelagem e elaboração de projetos são coincidentes.

Ao importar o arquivo .ifc do modelo da mesma forma como foi feito na etapa 2 visualizado através da Figura 93a, o relatório de importação fornecido pelo Scia Engineer 22.1 (Figura 93b), mostra que 77 sólidos foram reconhecidos, que corresponde à mesma quantidade de elementos

exportados, porém, diferente do ocorrido na Etapa 2, o *software* não descreveu a quantidade específica de cada elemento (vigas, pilares e lajes, por exemplo), demonstrando que o reconhecimento semântico não ocorreu plenamente.

Assim como no caso da importação pelo arquivo *.ifc* gerado a partir do modelo produzido no Revit 2024, na Figura 93b observa-se que a entidade *IfcSite* não foi reconhecida pelo *software* analisado, além disso, nenhum material associado foi importado e foram substituídos por um material padrão utilizado pelo *software*.

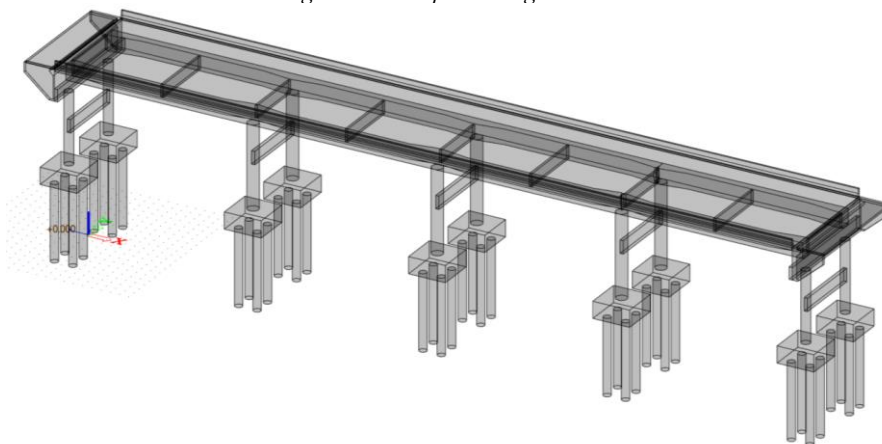
Figura 93: Configuração e relatório de importação gerado pelo Scia Engineer 22.1 ao importar o arquivo *.ifc* do modelo BIM gerado no Allplan Bridge 2024 para análise da geometria.



FONTE: O autor.

Apesar destes erros mostrados no relatório de importação, o modelo tridimensional gerado a partir da importação se mostrou completo, com a representação geométrica de todos os elementos estruturais que compõem a ponte. Na Figura 94 é mostrado o modelo resultante no Scia Engineer 22.1.

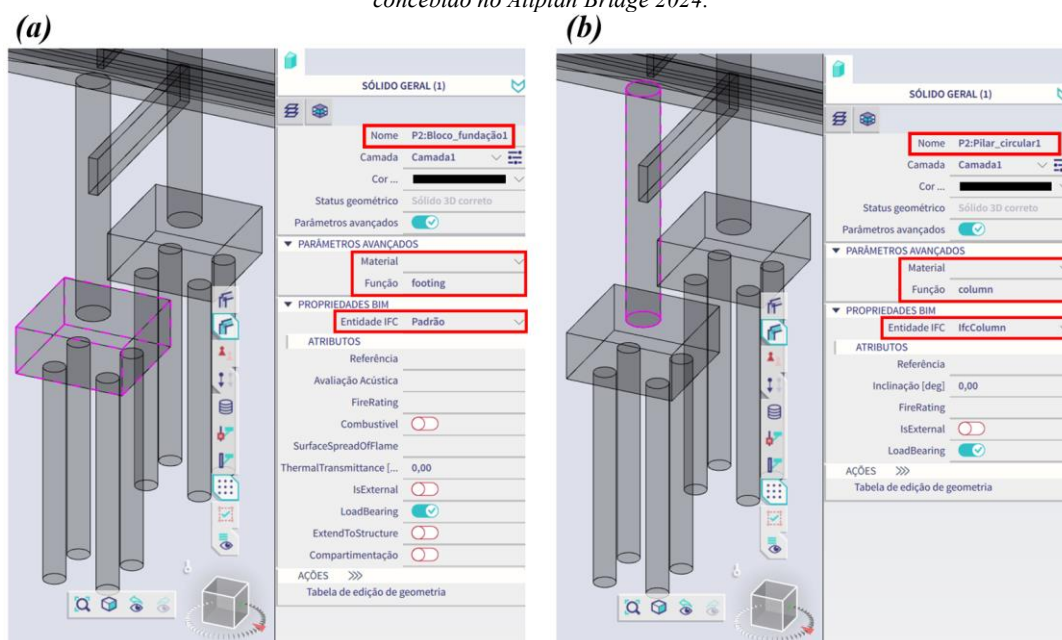
Figura 94: Resultado da representação geométrica pelo Scia Engineer 22.1 ao importar o arquivo *.ifc* do modelo BIM gerado no Allplan Bridge 2024.



FONTE: O autor.

Apesar do relatório de importação não organizar os elementos conforme a semântica atribuída, analisando o modelo tridimensional é possível notar na Figura 95b que a entidade IFC de alguns elementos foi reconhecida, e junto a ela, a função estrutural de cada um deles e a descrição atribuída no Allplan Bridge 2024. Logo, os elementos estão semanticamente definidos, não sendo apenas objetos tridimensionais. Apesar disso, como é possível ver na Figura 95a, alguns elementos não tiveram sua semântica reconhecida e à eles foi atribuída uma entidade IFC dita como “padrão” pelo *software*, mesmo que sua função e sua descrição tenham sido interpretadas. Estes elementos, portanto, chegaram através do intercâmbio de informações como elementos tridimensionais indefinidos.

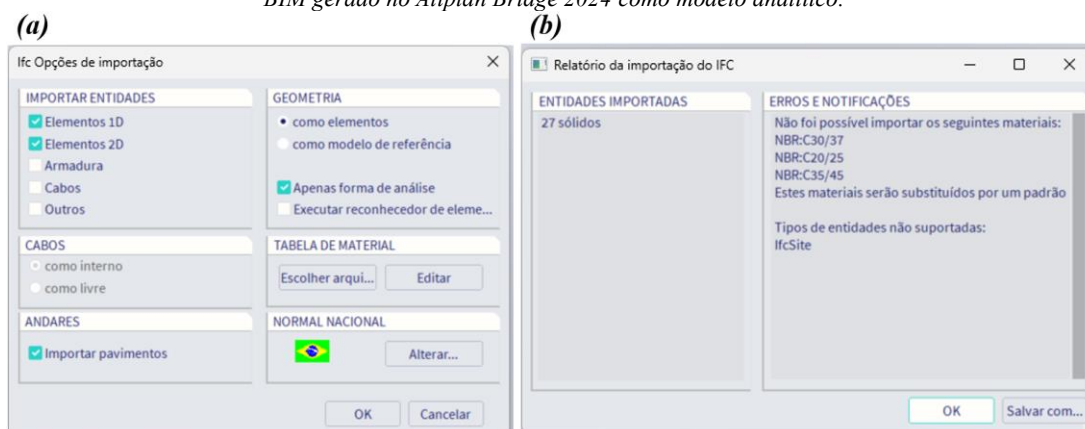
Figura 95: Análise do reconhecimento das entidades IFC pelo Scia Engineer 22.1 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM concebido no Allplan Bridge 2024.



FONTE: O autor.

Outro aspecto observado na importação pelo Scia Engineer 22.1 relaciona-se ao fato de não ser possível gerar o modelo analítico através do modelo BIM importado como foi na Etapa 2. Para isso foi necessário importar novamente o arquivo .ifc selecionando a opção de interpretar a geometria apenas como forma de análise, como mostra a Figura 96a. Neste caso, o relatório de importação gerado, mostrado na Figura 96b, retrata que apenas 27 dos 77 elementos modelados foram reconhecidos e, novamente, nenhum material associado foi importado.

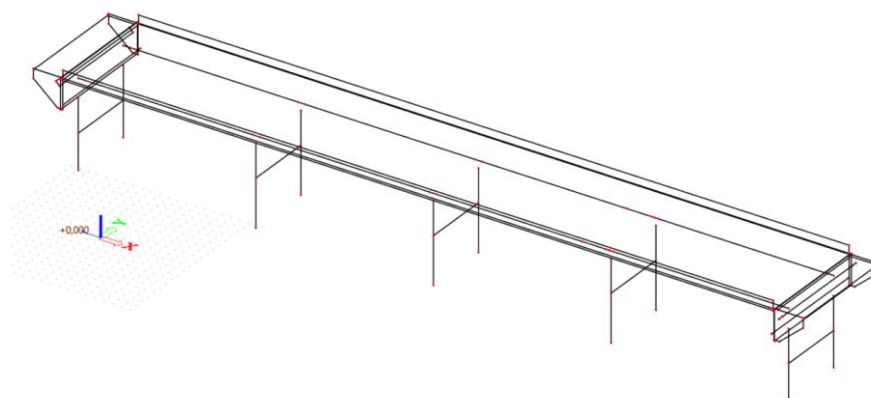
Figura 96: Configuração e relatório de importação gerado pelo Scia Engineer 22.1 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM gerado no Allplan Bridge 2024 como modelo analítico.



FONTE: O autor.

Apesar do relatório de importação novamente não especificar quais elementos foram importados, é possível ver através da Figura 97 que o modelo gerado é composto por pilares, travessas intermediárias, travessas extremas, longarinas, encontros, lajes e defensas. Os elementos de fundação e as transversinas não foram reconhecidos como elemento estrutural. Isso pode estar associado ao fato desses elementos não terem tipo sua entidade IFC reconhecida no ato da importação pelo Scia Engineer 22.1.

Figura 97: Resultado da representação do modelo analítico pelo Scia Engineer 22.1 ao importar o arquivo .ifc do modelo BIM gerado no Allplan Bridge 2024.



FONTE: O autor.

Apesar de ter sido possível gerar um modelo analítico, o resultado obtido foi incompatível com a realidade. Os nós que ligam os elementos não estão conectados corretamente e não há elementos finitos de placa. Assim, para se realizar uma análise robusta e adequada, seria necessário muitas manipulações e correções no modelo gerado, de modo que se torna mais fácil iniciá-lo do zero dentro do *software* com suas ferramentas próprias. Novamente percebem-se lacunas no vínculo IFC com *softwares* de análise estrutural e nesses *softwares* se encontram as principais barreiras de utilização do fluxo OpenBIM.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. ETAPA 1

A falta de um link direto entre as ferramentas de trabalho promove um descompasso no desenvolvimento das funções de cada membro da equipe, que ora trabalhou em um formato colaborativo, ora de forma individual. São inúmeros os desafios, mas os ganhos gerados na solução dessas lacunas irão contribuir de forma significativa em alguns pontos negativos observados tais como:

- a) Retrabalho mediante a necessidade de remodelagem da estrutura já que não foi possível utilizar o modelo BIM no *software* de análise estrutural utilizando um fluxo interoperável;
- b) Dificuldade no controle de novas informações advindas de atualizações no modelo analítico e revisões no dimensionamento que implicam em novas dimensões dos elementos estruturais e arranjos de armadura, e que necessitam, seguindo este fluxo, serem repassados de forma informal e analógica.

A importância de vivenciar um trabalho como este está, entre outras coisas, na experiência adquirida com os erros. Vários equívocos ao longo do caminho permitiram que todos os membros da equipe saíssem da zona de conforto e procurassem por fluxos e metodologias mais eficientes, que tornassem o trabalho mais sincronizado, otimizado e eficaz.

Percebeu-se ao longo do desenvolvimento do projeto que a falta de uma troca de informações mais direta e automatizada gerou erros de compatibilização e uma dificuldade na atualização do modelo mediante a demandas estruturais. O risco de modelos incompatíveis em um trabalho como esse, onde várias pontes são feitas de forma simultânea é muito grande e gera a necessidade da procura por soluções de fluxos mais automatizados. Dessa forma, o BIM surge como alternativa para minimizar esta deficiência e tornar as etapas de projeto mais unificadas através do intercâmbio de informações entre as diferentes ferramentas utilizadas.

## 4.2. CRITÉRIOS DE ANÁLISE – ETAPAS 2 E 3

Para que fosse possível quantificar o número de parâmetros, entidades e elementos lidos, a organização dessa verificação se deu através dos elementos da ponte, que foram analisados individualmente com base nos critérios apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Parâmetros de avaliação da importação do arquivo .ifc gerado através do modelo BIM desenvolvido do Revit 2024 pelos softwares analisados.

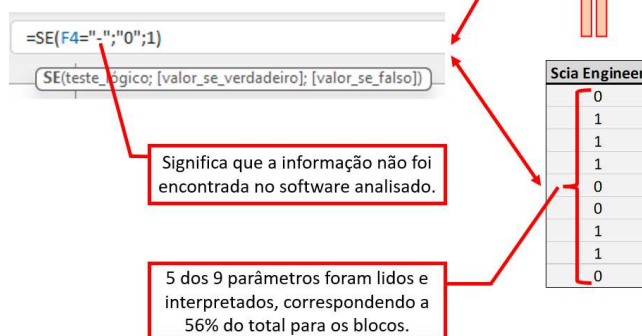
ELEMENTO ESTRUTURAL DA PONTE	PARÂMETROS AVALIADOS
	Entidade IFC
	Semântica
	Descrição
	Geometria
	Material
	Propriedades do material
	Área da seção
	Comprimento
	Volume
	Peso
	Capacidade de carga

FONTE: O autor.

Como se trata de uma análise quantitativa, ou seja, quantos destes parâmetros o *software* conseguiu de alguma forma ler/interpretar, para cada parâmetro foi atribuído um valor unitário de forma que, se o *software* foi capaz de traduzir a informação, recebe valor unitário, se não, recebe valor nulo, como exemplificado na Figura 98. Ao final, caso o *software* tenha sido capaz de ler todos os parâmetros, terá valor máximo igual a 9, que corresponde a 100% das informações.

Figura 98: Método utilizado para realização da análise quantitativa.

Elementos da ponte	Classes IFC definidas (2X3 e 4X3)	Informações de parâmetros	Softwares Scia Engineer
Bloco de Fundação	IfcFooting - Pilecap	Entidade IFC	-
		Semântica	ok
		Descrição	ok
		Geometria	ok
		Material	-
		Propriedades do material	-
		Área da seção	ok
		Volume	ok
		Peso	-



FONTE: O autor.

A partir disso, foi possível mensurar quantitativamente a capacidade dos *softwares* avaliados de lerem as informações contidas no arquivo .ifc, independentemente da sua relevância na elaboração do modelo estrutural por meio do modelo BIM.

Além do número de parâmetros lidos por cada *software* é importante avaliar a relevância destas informações para que seja possível gerar o modelo analítico a partir do modelo BIM. Desta forma foram definidos critérios de influência desses parâmetros para a realização de uma análise estrutural e, a partir disso, foram definidos pesos de ponderação da qualidade da leitura do modelo BIM pelo *software* receptor. Estes pesos estão descritos na Tabela 8.

Tabela 8: Peso das informações do modelo BIM de acordo com a relevância na elaboração da análise estrutural.

<b>Semântica</b>	<b>Informações gerais</b>	<b>Geometria</b>	<b>Materiais</b>
Tipo predefinido	Nome Global ID	Sólido 3D informações da seção Posicionamento Associação c/ material	Nome do material Categoria Nome das propriedades Valores das propriedades Unidades
0,25	0,05	0,30	0,40

FONTE: O autor.

Cada uma das categorias são subdivididas e os pesos de cada uma dessas subdivisões é mostrado na Tabela 9. A partir da definição dos coeficientes de ponderação e com base nos critérios, foram extraídos os resultados da análise qualitativa.

Tabela 9: Subdivisão dos critérios de avaliação qualitativa de acordo com os critérios de relevância apresentados para a elaboração da análise estrutural.

<b>Semântica</b>		<b>Informações gerais</b>	
100%	Tipo predefinido	50%	Nome
<b>Peso</b>	<b>0,25</b>	50%	GlobalID
		<b>Peso</b>	<b>0,05</b>

<b>Materiais</b>		<b>Geometria</b>	
5%	Nome do material	10%	Sólido 3D
5%	Categoria	40%	Informações da seção
40%	Nome das propriedades	30%	Posicionamento
25%	Valores das propriedades	20%	Associação c/ material
25%	Unidades	<b>Peso</b>	<b>0,30</b>
<b>Peso</b>	<b>0,40</b>		

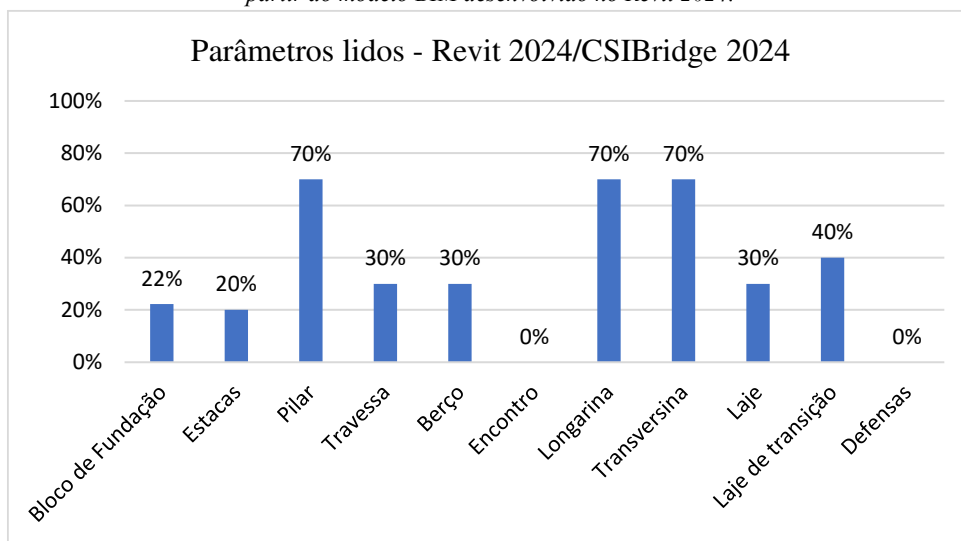
FONTE: O autor.

## 4.3. ETAPA 2

### 4.3.1. Análise quantitativa

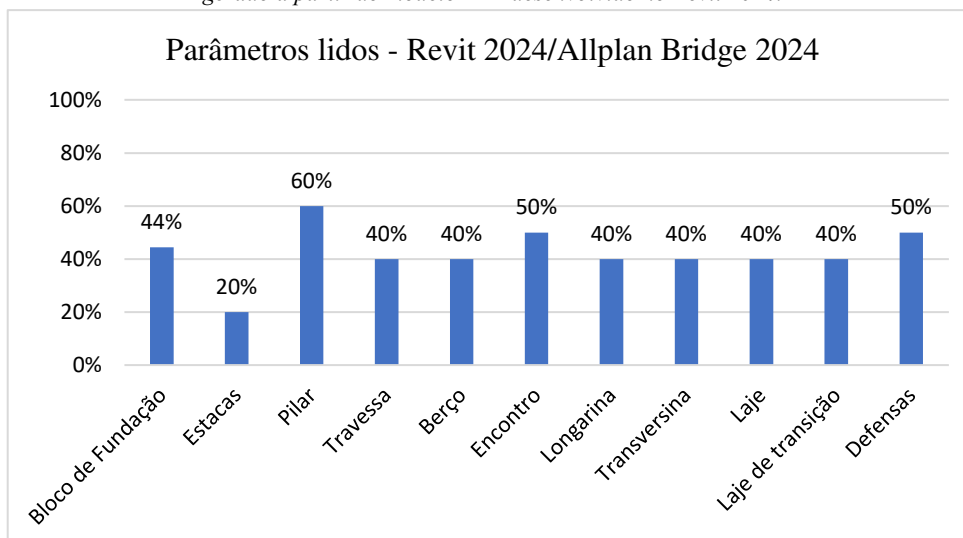
A partir do exposto anteriormente, os resultados de importação, leitura e interpretação do modelo BIM foram organizados por *software* receptor e pelos elementos da ponte, como mostrado nas Figura 99, Figura 100, Figura 101 e Figura 102. Na Figura 103 mostra-se o resultado geral obtido por cada *software*.

Figura 99: Resultado em gráfico de barras dos parâmetros lidos pelo CSIBridge 2024 ao importar o arquivo .ifc gerado a partir do modelo BIM desenvolvido no Revit 2024.



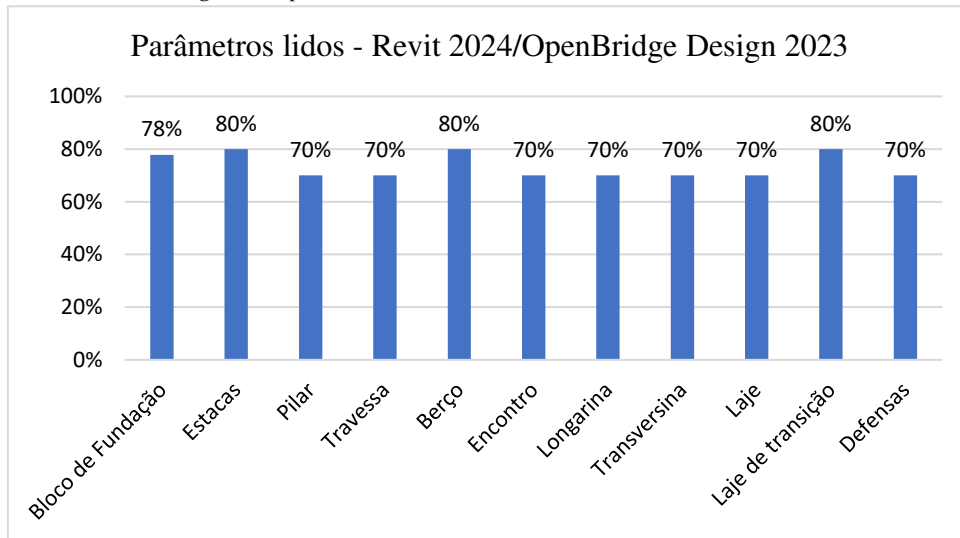
FONTE: O autor.

Figura 100: Resultado em gráfico de barras dos parâmetros lidos pelo Allplan Engineering 2024 ao importar o arquivo .ifc gerado a partir do modelo BIM desenvolvido no Revit 2024.



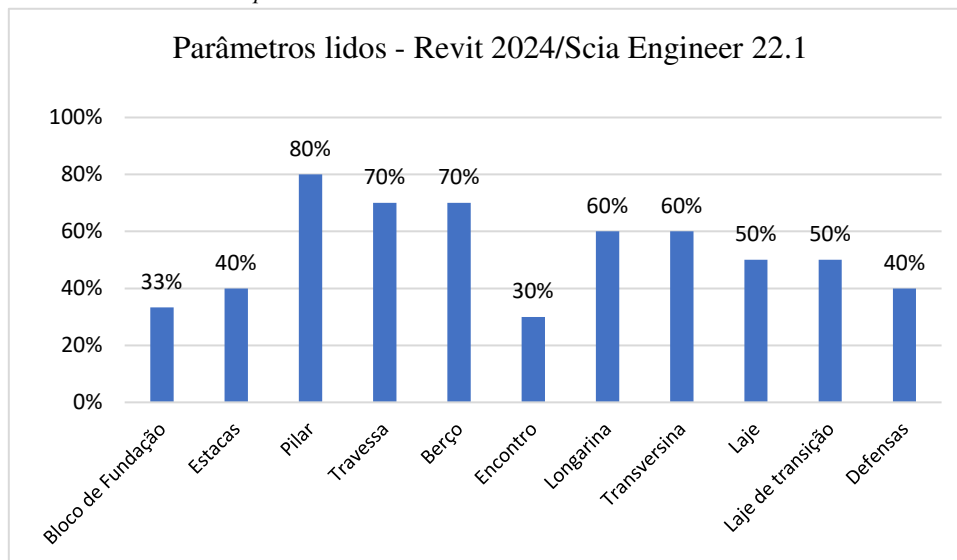
FONTE: O autor.

Figura 101: Resultado em gráfico de barras dos parâmetros lidos pelo OpenBridge Design 2023 ao importar o arquivo .ifc gerado a partir do modelo BIM desenvolvido no Revit 2024.



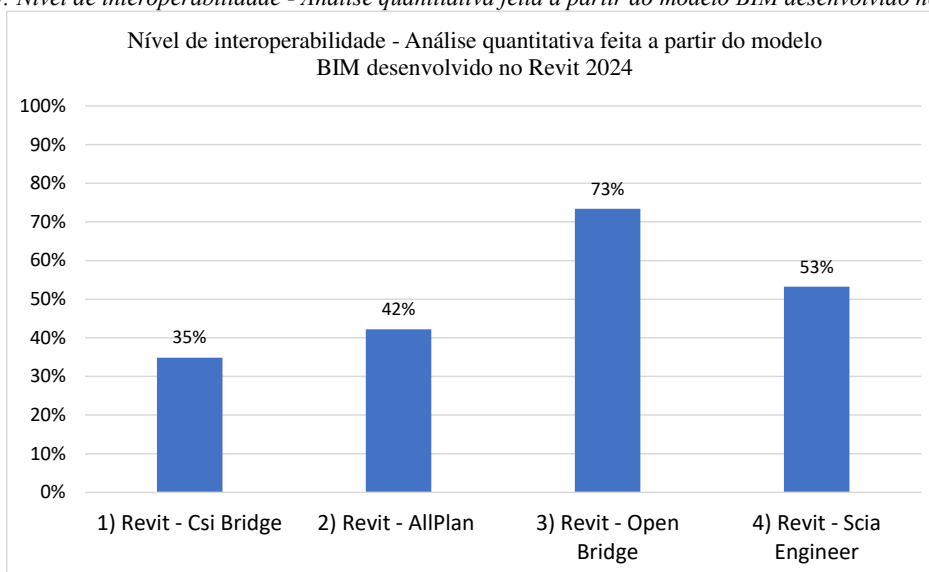
FONTE: O autor.

Figura 102: Resultado em gráfico de barras dos parâmetros lidos pelo Scia Engineer 22.1 ao importar o arquivo .ifc gerado a partir do modelo BIM desenvolvido no Revit 2024.



FONTE: O autor.

Figura 103: Nível de interoperabilidade - Análise quantitativa feita a partir do modelo BIM desenvolvido no Revit 2024.



FONTE: O autor.

Com base nos resultados obtidos, é possível notar que, em relação à quantidade de informações importadas pelos *softwares* analisados, o OpenBridge Design 2023, que foi capaz de ler 73% das informações contidas no arquivo .ifc. Através do gráfico apresentado na Figura 101, pode-se notar ainda que este foi o *software* que apresentou maior similaridade na leitura das informações de cada objeto modelado, todos estando na faixa de 70% a 80%, ou seja, independente do elemento estrutural, a capacidade de leitura das informações por parte do *software* foi a mesma.

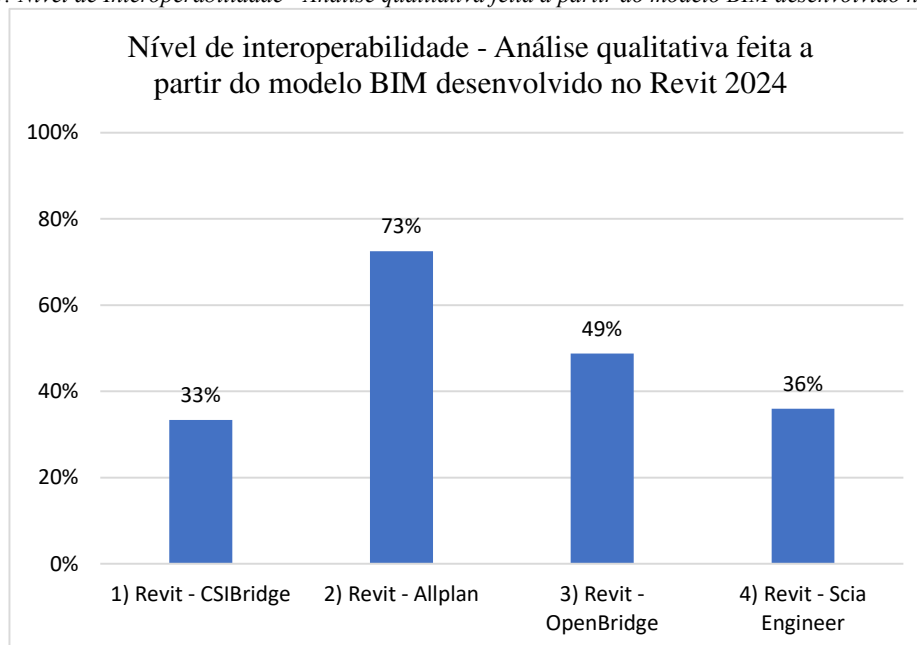
No caso do CSIBridge 2024, que nesta etapa, foi o *software* que apresentou menor capacidade de leitura do arquivo .ifc, com a leitura de 35% das informações, percebe-se que a variação na eficiência de importação varia consideravelmente a depender do elemento estrutural modelado. Os maiores índices de informações importadas são correspondentes as longarinas e transversinas, entendidas pelo *software* como vigas comuns, e aos pilares, com 70% das informações extraídas, os outros elementos tiveram percentual de leitura de informações menor ou igual a 40%.

Essa variação na coleta de informações em função do elemento estrutural influencia diretamente na qualidade da importação, haja vista que nenhum modelo estrutural é composto apenas por vigas e pilares. A incapacidade de identificar os elementos de viga como longarinas e transversinas já era esperada tendo em vista a configuração IFC na versão IFC 2x3 2.0. Além disso já era esperada a impossibilidade de gerar o modelo analítico através da importação do modelo BIM através do arquivo .ifc tendo em vista o MVD utilizado tanto na importação quanto na exportação.

### 4.3.2. Análise qualitativa

A partir da definição dos coeficientes de ponderação e com base nos mesmos critérios já discutidos no item 4.2 do presente estudo, foram extraídos os resultados da análise qualitativa, apresentados na Figura 104.

Figura 104: Nível de Interoperabilidade - Análise qualitativa feita a partir do modelo BIM desenvolvido no Revit 2024.



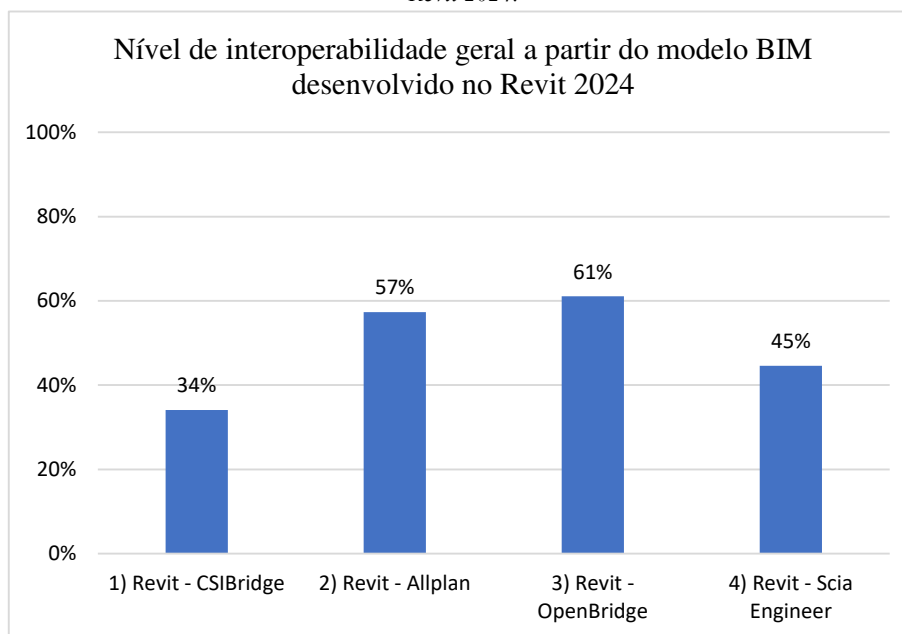
FONTE: O autor.

Em relação a análise qualitativa, pode-se perceber através da Figura 104 que o Allplan Engineering 2024 apresentou maior percentual de relevância das informações lidas, correspondendo a 73% dos parâmetros atribuídos ao modelo BIM. Importante destacar que este é o único *software* de modelagem que não é específico de pontes no estudo em questão. Em seguida vem o OpenBridge Design 2023, *software* de modelagem BIM, análise e dimensionamento de pontes. *Softwares* específicos de análise e dimensionamento (CSIBridge 2024 e Scia Engineer 22.1) obtiveram menores percentuais, isso se deve principalmente ao fato de não terem gerado de forma satisfatória o modelo tridimensional da ponte, não conseguindo interpretar corretamente a geometria dos elementos modelados.

### 4.3.3. Nível de Interoperabilidade

A partir das análises quantitativa e qualitativa, a Figura 105 mostra o nível e interoperabilidade geral apresentado pelos *softwares*, avaliando-se a quantidade de informações importadas e a capacidade de traduzi-las e atribuí-las corretamente ao modelo gerado, além da capacidade de manipulação do modelo (gerar cortes, vistas, cotas, entre outros) e a semântica dos elementos de acordo com as entidades IFC definidas.

Figura 105: Nível de Interoperabilidade geral de cada software analisado obtido a partir do modelo BIM desenvolvido no Revit 2024.



FONTE: O autor.

Com base nas duas análises, é possível ver no gráfico da Figura 105, que novamente os *softwares* de modelagem BIM apresentaram maiores percentuais de interoperabilidade com o modelo BIM desenvolvido no Revit 2024. Assim como na análise quantitativa, o OpenBridge Design 2023 apresentou maior capacidade de interoperar através do IFC gerado pelo Revit 2024. Como trata-se de um *software* robusto, com ferramentas de modelagem BIM, análise e dimensionamento de pontes, é uma ferramenta de aprendizagem complexa, assim, não foi possível extrair todas as potencialidades do *software* a partir de um fluxo OpenBIM.

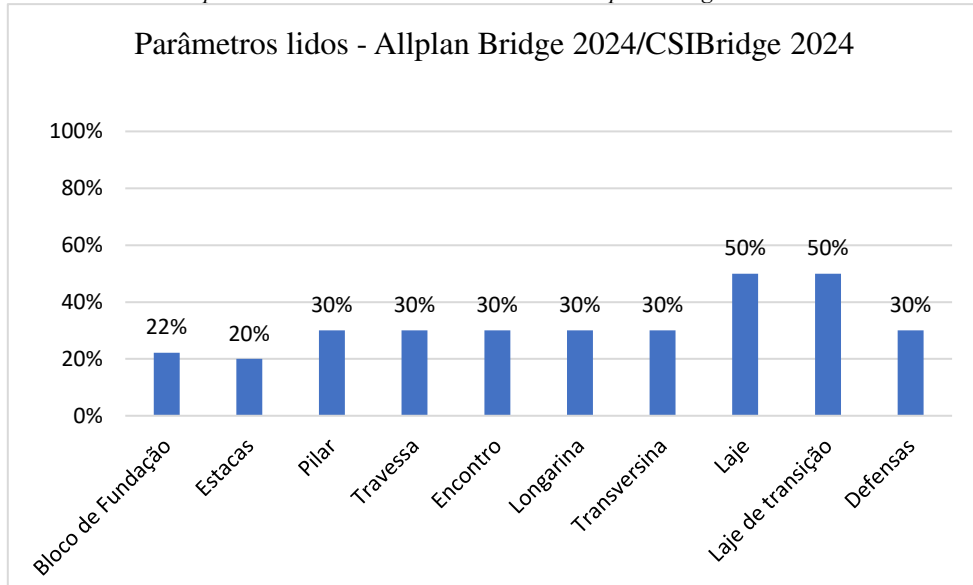
Apesar dos maiores resultados terem vindo de *softwares* de modelagem, específicos para modelos BIM ou não, todos os *softwares* tiveram nível de interoperabilidade inferior ou igual a 61%, o que é uma porcentagem muito baixa e inviabiliza um fluxo BIM através de arquivos neutros em formato IFC.

## 4.4. ETAPA 3

### 4.4.1. Análise quantitativa

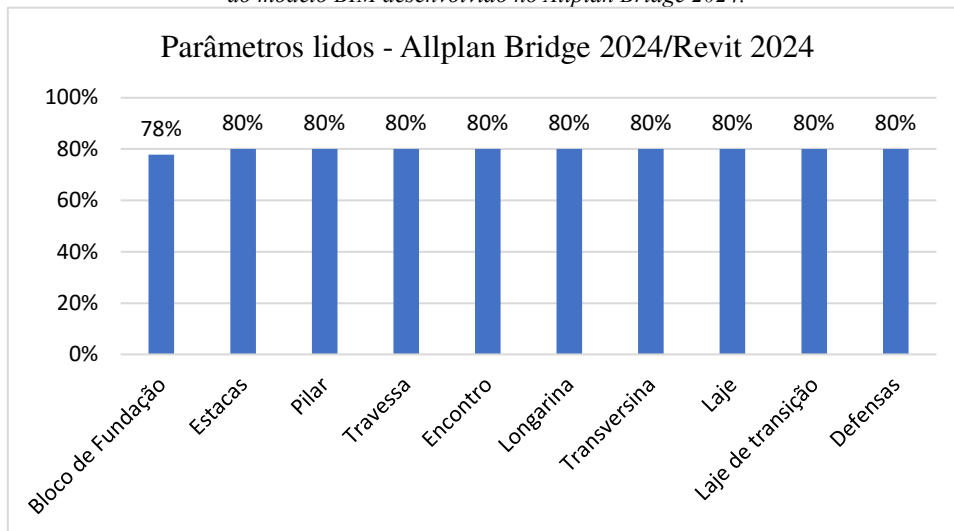
Os resultados obtidos, na etapa do desenvolvimento metodológico para cada *software*, são mostrados nas Figura 106, Figura 107, Figura 108, Figura 109 e Figura 110.

Figura 106: Resultado em gráfico de barras dos parâmetros lidos pelo CSIBridge 2024 ao importar o arquivo .ifc gerado a partir do modelo BIM desenvolvido no Allplan Bridge 2024.



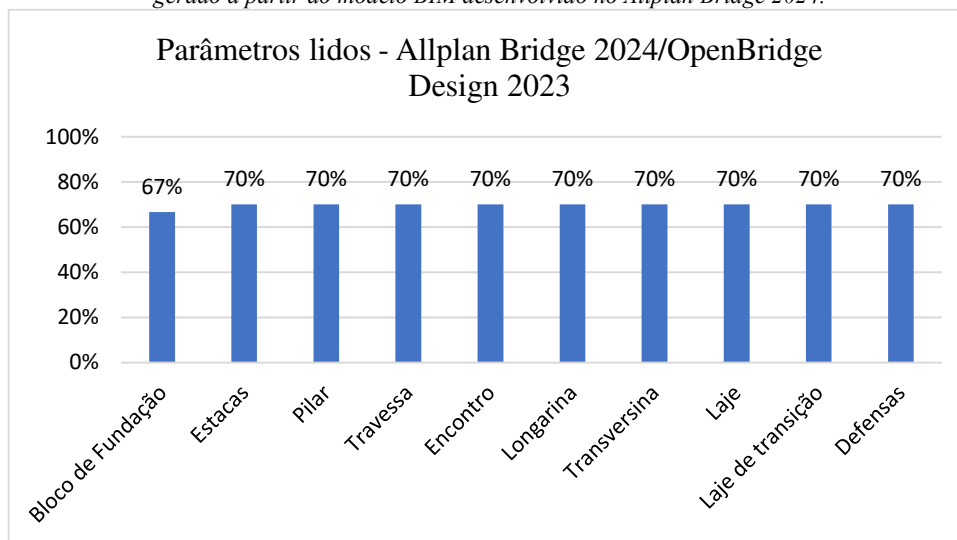
FONTE: O autor.

Figura 107: Resultado em gráfico de barras dos parâmetros lidos pelo Revit 2024 ao importar o arquivo .ifc gerado a partir do modelo BIM desenvolvido no Allplan Bridge 2024.



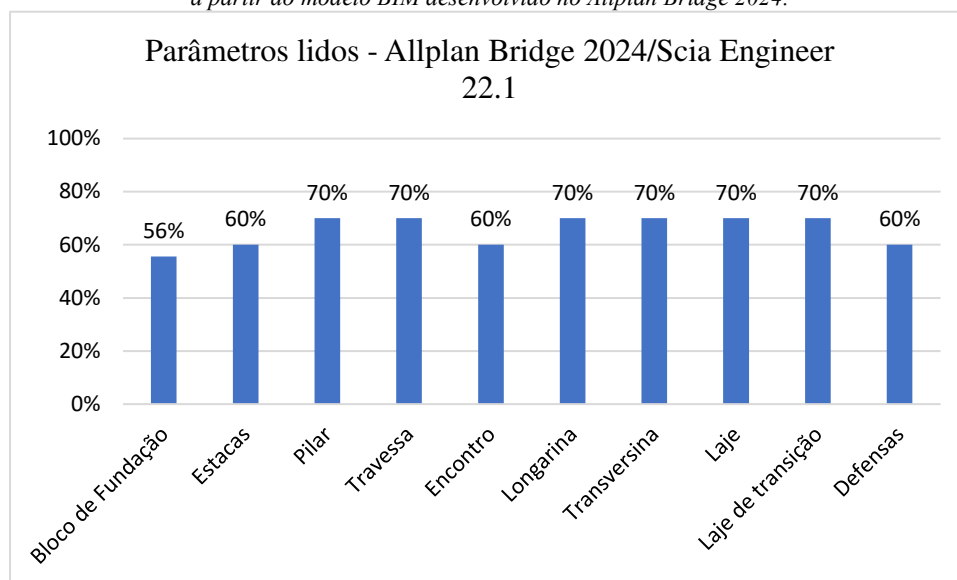
FONTE: O autor.

Figura 108: Resultado em gráfico de barras dos parâmetros lidos pelo OpenBridge Design 2023 ao importar o arquivo .ifc gerado a partir do modelo BIM desenvolvido no Allplan Bridge 2024.



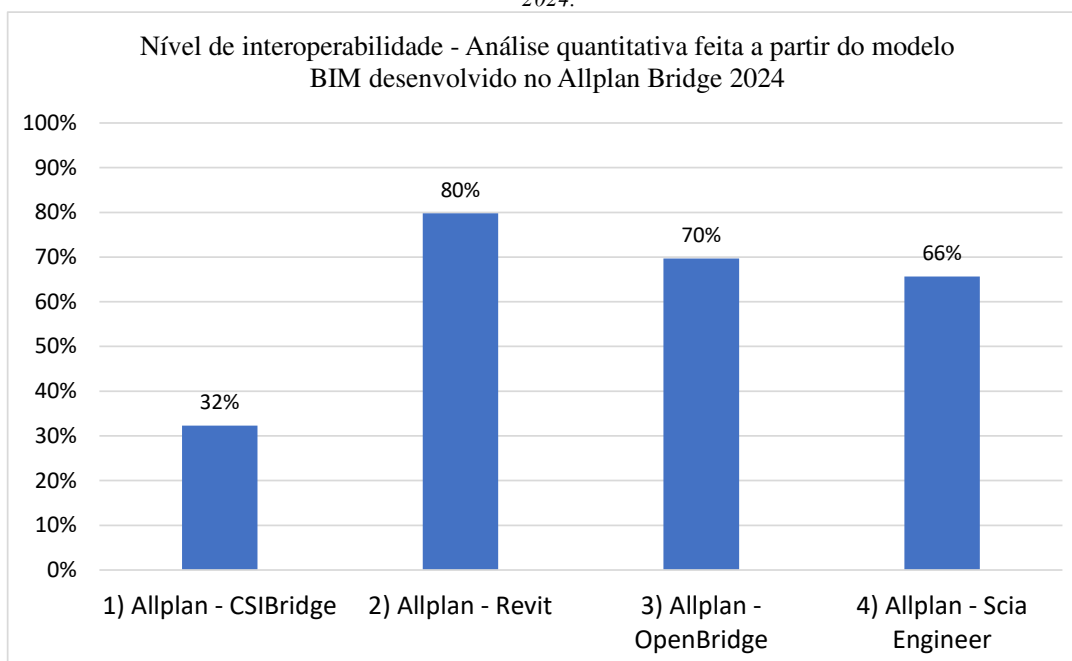
FONTE: O autor.

Figura 109: Resultado em gráfico de barras dos parâmetros lidos pelo Scia Engineer 22.1 ao importar o arquivo .ifc gerado a partir do modelo BIM desenvolvido no Allplan Bridge 2024.



FONTE: O autor.

Figura 110: Nível de interoperabilidade - Análise quantitativa feita a partir do modelo BIM desenvolvido no Allplan Bridge 2024.



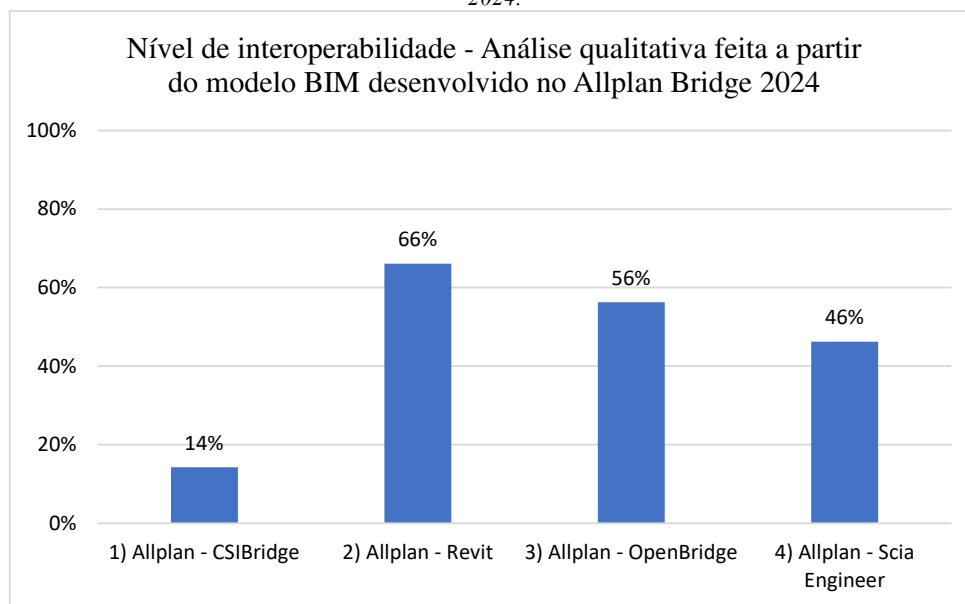
FONTE: O autor.

Os resultados obtidos na análise quantitativa se mostraram mais constantes quando comparados à mesma análise realizada na Etapa 2. Todos os *softwares* apresentaram baixas variações nos percentuais de informações importadas em função dos elementos da ponte. Neste caso o maior percentual corresponde ao vínculo entre o Allplan Bridge 2024 e o Revit 2024, com 80% das informações importadas, seguido do OpenBridge Design 2023, com percentual correspondente a 70%. Novamente o CSIBridge obteve o menor percentual dentre os *softwares* analisados.

#### 4.4.2. Análise qualitativa

Da mesma forma como foi feito na Etapa 2, a análise qualitativa avalia, por meio de pesos de acordo com a relevância da informação, o nível de interoperabilidade entre os *softwares* analisados, apresentado na Figura 111.

Figura 111: Nível de Interoperabilidade - Análise qualitativa feita a partir do modelo BIM desenvolvido no Allplan Bridge 2024.



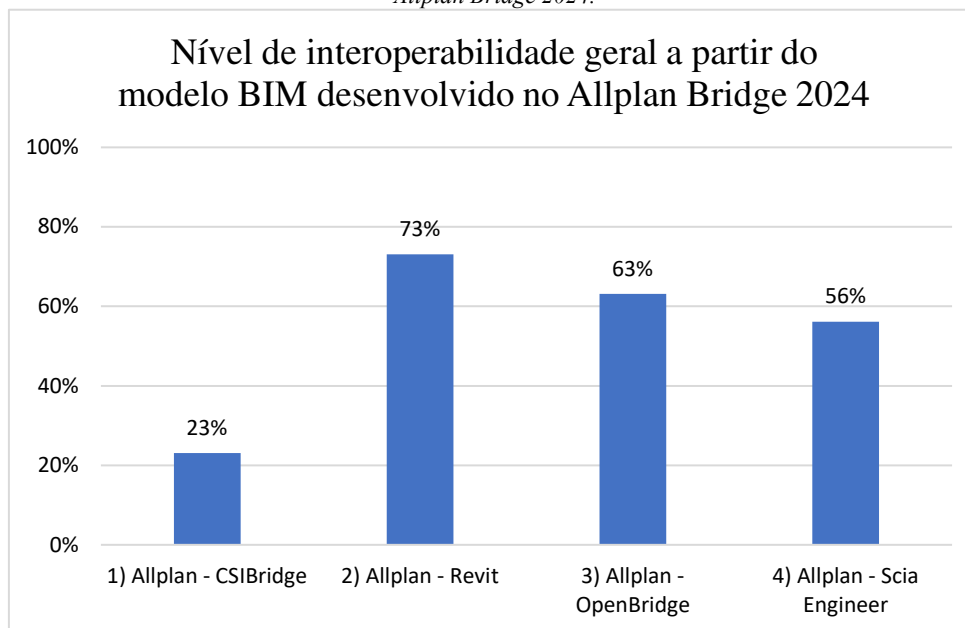
FONTE: O autor.

Na análise qualitativa, o Revit 2024 apresentou maior percentual de relevância nas informações importadas, confirmando o resultado obtido na Etapa 2 que também mostrou uma melhor relação de troca entre o Allplan Engineering 2024 e o Revit 2024. Novamente os *softwares* capazes de desenvolver a modelagem BIM tiveram maior percentual de troca através do vínculo IFC.

#### 4.4.3. Nível de Interoperabilidade

Assim, fazendo uma média entre a análise quantitativa e qualitativa, da mesma forma que se fez na etapa anterior, define-se o Nível de Interoperabilidade dos *softwares*, a partir de um arquivo .ifc gerado por meio de um modelo BIM produzido pelo Allplan Bridge 2024. Os resultados são apresentados na Figura 112.

Figura 112: Nível de Interoperabilidade geral de cada software analisado obtido a partir do modelo BIM desenvolvido no Allplan Bridge 2024.



FONTE: O autor.

Com base nas análises feitas na Etapa 3, a Figura 112 mostra que os resultados de níveis de interoperabilidade a partir da análise de importação do arquivo .ifc originado no Revit 2024 são maiores para três dos quatro *softwares* avaliados. O CSIBridge foi o único *software* que apresentou menor nível de interoperabilidade comparado a Etapa 2, e assim como nesta etapa, foi o menor percentual dentre os quatro *softwares*.

Assim como na Etapa 2, os níveis de interoperabilidade obtidos na Etapa 3 foram baixos. O Allplan Bridge 2024 foi o único *software* que apresentou percentual maior que 70% na análise geral, porém serão poucos os casos em que haverá necessidade de integrar os dois *softwares* em um fluxo BIM por possuírem as mesmas finalidades e terem as mesmas ferramentas. Um dos possíveis cenários de uso conjuntos desses dois *softwares* é o desenvolvimento do modelo BIM no Revit e o detalhamento e documentação através de pranchas no Allplan Engineering, neste caso, não seria necessária a utilização do Allplan Bridge como ferramenta de modelagem, *software* complementar ao Allplan Engineering.

## 5. CONCLUSÕES

A partir do exposto ao longo de todo o desenvolvimento do trabalho, percebe-se que hoje ainda não há um fluxo totalmente interoperável para projetos de pontes em BIM, seja ela concebida por qualquer que seja o sistema construtivo adotado. Percebe-se que em projetos de pontes, o desenvolvimento dos *softwares* estruturais em relação à robustez e qualidade da análise estrutural não é acompanhado pelo desenvolvimento tecnológico em BIM.

Apesar do fluxo convencional apresentado na Etapa 1 do desenvolvimento metodológico ser oneroso e pouco eficiente, a realidade atual da inserção do BIM neste tipo de projeto ainda não permite que se coloque totalmente em prática essa nova metodologia de elaboração de projetos.

A falta de comunicação entre os *softwares* obriga a seguir um fluxo desconexo, porém mais preciso em termos de análise. Além disso, os fluxos propostos pelas empresas seguindo formatos de arquivos próprios também apresentam deficiências, como apresentado na pesquisa de Serra *et al.* (2016). Ou seja, o intercâmbio de informações não apresenta eficiência mesmo se tratando de formatos de arquivos proprietários.

Quando se estuda o vínculo através do IFC mesmo em *softwares* de uma mesma empresa, como no caso apresentado na Etapa 3 do desenvolvimento metodológico, entre os *softwares* Allplan Bridge 2024, Allplan Engineering 2024 e Scia Engineer 22.1, essa deficiência na troca de informações é ainda mais expressiva quando comparada ao vínculo direto entre eles.

Atualmente, a utilização do IFC para troca de dados interdisciplinar é cada vez mais comum para edifícios convencionais. Porém, são notórias as diferenças entre a evolução do BIM em empreendimentos verticais e de infraestrutura, que não alcançam os mesmos avanços.

Ainda cabe ressaltar que os *softwares* abordados foram analisados com base em uma versão anterior do IFC, uma vez que a maioria deles não reconhece a versão IFC4x3. Conclui-se, portanto, que tais ferramentas ainda não alcançaram a evolução suficiente, dificultando a possibilidade de exercer a elaboração de projetos de pontes através de um fluxo interoperável.

Outro aspecto importante trata da dificuldade em adquirir o domínio das ferramentas analisadas. Todos estes *softwares* são robustos, complexos e exigem grande disponibilidade de tempo e dedicação. Isso faz com que se torne pouco vantajoso investir neste tempo quando não

se tem um concreto conhecimento das potencialidades do BIM, que não serão alcançadas, principalmente quando é conhecido o fluxo convencional por parte dos projetistas. Essa é uma das grandes barreiras para propagação da metodologia.

Percebe-se através do estudo que, de maneira geral, os *softwares* obtiveram um baixo nível de interoperabilidade. Fazendo uma média entre os níveis alcançados pelo CSIBridge 2024 e pelo Scia Engineer 22.1 nas Etapas 2 e 3, os resultados são 28,5% e 50,5% respectivamente, mostrando que ainda há uma significativa defasagem na interoperabilidade, principalmente em *softwares* específicos de análise e dimensionamento, sejam eles específicos de pontes ou não.

Além disso, o nível de interoperabilidade médio entre todos os *softwares* obtido nas Etapas 2 e 3 correspondem, respectivamente a 49,25% e 53,75%, mostrando que, independente do *software* de modelagem utilizado para gerar o arquivo .ifc do modelo, o resultado médio oscila em torno de 50%, um percentual baixo que inviabiliza a adoção do fluxo interoperável.

A falta de reconhecimento de informações básicas tais como o material associado, a geometria do objeto e seu posicionamento mostra que independentemente da versão IFC utilizada, ainda há um déficit na integração entre os *softwares* para que haja um fluxo *OpenBIM* neste tipo de projeto.

## 6. SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS

Diante do que foi apresentado, algumas recomendações de trabalhos futuros são apresentadas como forma de contribuição ao tema aqui abordado. São elas:

- Um estudo específico da troca de informação relacionada aos materiais inseridos aos elementos estruturais modelados, dada a baixa troca de parâmetros de material e suas propriedades apresentadas pelos *softwares*. Dentre todos os critérios avaliados, os relativos aos materiais foram os que apresentaram menores percentuais de intercâmbio através do IFC;
- A atualização do estudo para as versões mais recentes dos *softwares* utilizados, pois do início da pesquisa até o momento de sua conclusão, alguns dos *softwares* tiveram suas versões atualizadas, o que pode implicar em melhorias na interoperabilidade;
- A influência que as configurações de exportação e importação e exercem sobre o intercâmbio de informações, gerando vários arquivos .ifc exportados e importados de formas diferentes;
- A análise das mudanças oriundas da atualização das versões IFC e como elas são percebidas na rotina dos escritórios de projetos de obras de arte especiais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2023.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7187: Projeto de Pontes de Concreto Armado e de Concreto Protendido**. Rio de Janeiro, 2021.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7188: Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas**. Rio de Janeiro, 2013.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15965: Pontes de concreto armado e protendido – Projeto de estruturas**. Rio de Janeiro, 2022.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações**. Rio de Janeiro, 1988.
- ACCIOLY, D. **Falta de dinheiro, falhas de projeto e omissão política geram 14 mil obras inacabadas**. *Portal Agência Senado*, 2022. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/infomaterias/2022/06/falta-de-dinheirofalhas-de-projeto-e-omissao-politica-geram-14-mil-obras-inacabadas>. Acesso em: 12 jul. 2023.
- ALVES, J. P. C. **Interoperabilidade BIM em projeto de estruturas**. 2018. 92 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal.
- AMANN, J.; BORMANN, A. **Creating a 3D-BIM-compliant road design based on IFC alignment originating from an OKSTRA-accordant 2D road design using the TUM Open Infra Platform and the OKSTRA Class Library**. 2015. Disponível em: <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1286517/document.pdf>. Acessado em: 10 out. 2023.
- AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. **AASHTO LRFD Bridge Design Specifications, Part I: Sections 1-6**. 2017.
- ANDRADE, S. L. de. **A contribuição dos sistemas BIM para o planejamento orçamentário das obras públicas: estudo de caso do auditório e da biblioteca de Planaltina**. 2012. 134 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- ANDRADE, M. L.; RUSCHEL, R. C. **BIM: conceitos, cenário das pesquisas publicadas no Brasil e tendências**. Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído. Anais. SBQP2009, nov. 2009, Escola de Engenharia de São Carlos, campus 1, Universidade de São Paulo, São Carlos, SP.
- ANTUNES, M. R. L. *et al.* **Analysis of the IFC interoperability data schema for project representation**. *Automation in Construction*, v. 166, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2024.105650>.

BERNSTEIN, H. M. *et al.* **The Business Value of BIM for Construction in Major Global Markets.** Bedford: McGraw Hill Construction, 2014.

BIRKEMO, A. S.; HJORTLAND, S. C.; SAMARAKOON, M. S. M. K. **Improvements for the workflow interoperability between BIM and FEM tools.** *WIT Transactions on the Built Environment*, v. 192, p. 317-327, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.2495/BIM190271>.

BORDIGNON, F. J.; ARENAS, M. V. dos S. **Gerenciamento de projetos de obras públicas: compreensão desses investimentos públicos.** *REUNIR: Revista de Administração, Contabilidade e Sustentabilidade*, v. 9, n. 1, p. 41–49, 18 jul. 2019.

BORRMANN, A.; KONIG, M.; KOCH, C.; BEETZ, J. **Building Information Modeling: Technologische Literaturverzeichnis Grundlagen und industrielle Praxis.** *Springer Vieweg*, v. 1. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/978-3-658-05606-3>.

BRADLEY, A. *et al.* **BIM for infrastructure: an overall review and constructor perspective.** *Automation in Construction*, Elsevier B.V., 1 nov. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.08.019>.

BRITO, D. M. de. **Fatores críticos de sucesso para implantação de Building Information Modelling (BIM) por organizações públicas.** 2019. 193 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA.

BUILDINGSMART International. **Industry Foundation Classes (IFC) – Latest Version.** Disponível em: <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/>. Acesso em: 24 nov. 2024.

BUILDINGSMART International. **Model View Definition (MVD) – An Introduction.** Disponível em: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/mvd/>. Acesso em: 25 set. 2024.

BUILDINGSMART International. **MVD Database.** Disponível em: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc/mvd/mvd-database/>. Acesso em: 25 jul. 2024.

BUILDINGSMART International. **IFC Validations.** Disponível em: <https://validate.buildingsmart.org/dashboard>. Acesso em: 25 out. 2024.

BUILDINGSMART International. **IFC Certification Participants.** Disponível em: <https://technical.buildingsmart.org/services/certification/ifc-certification-participants/>. Acesso em: 12 jan. 2025.

BUILDINGSMART International. **Industry Foundation Classes (IFC) – Architecture.** Disponível em: [https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4\\_3/HTML/content/introduction.htm](https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_3/HTML/content/introduction.htm). Acesso em: 12 jan. 2025.

BUILDINGSMART International. **Industry Foundation Classes (IFC) – Alphabetical listings - Entities.**

Disponível em: [https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4\\_3/HTML/annex-b1.html](https://standards.buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_3/HTML/annex-b1.html). Acesso em: 12 jan. 2025.

CARLOS LINO, J.; AZENHA, M.; LOURENÇO, P. **Integração da metodologia BIM na engenharia de estruturas**. Encontro Nacional de Betão Estrutural (BE2012), Porto, Portugal, out. 2012.

CAVALCANTE, G. H. F. **Pontes em Concreto Armado: Análise e Dimensionamento**. São Paulo: Blucher, 2019.

CHECCUCCI, É. DE S. **Teses e dissertações brasileiras sobre BIM: uma análise do período de 2013 a 2018**. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção*, v. 10, fev. 2019.

CHENG, J. C. P.; LU, Q.; DENG, Y. **Analytical review and evaluation of civil information modeling**. *Automation in Construction*, v. 68, p. 1-12, jul. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.02.006>.

CORRÊA, C. R. S. de M. S. *et al.* **BIM para infraestruturas rodoviárias: Uma revisão sistemática**. 4º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção, Porto Alegre, 2019. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sbtic/article/view/189/184>. Acesso em: 12 jul. 2023.

DEBS, Mounir Khalil El; TAKEYA, T. **Introdução às pontes de concreto**. São Carlos: Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, 2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de projeto de Obras-de-arte Especiais**. Manual 698. DNIT. Brasil. 1996.

DLUBAL, D. **Examinando o formato de análise estrutural (SAF) para adequação para suporte BIM em planejamento estrutural**. 2021. 191 p. Dissertação (Mestrado) – Technische Universität München, Monique.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors**. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2008.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM handbook: a guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers, and contractors**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2011.

ELLER, P. R. **Pré-dimensionamento de vigas mistas de aço e concreto para pontes de pequeno porte**. 2011. 73 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG, 2011.

FERREIRA, B. *et al.* **Integração da tecnologia BIM no projeto de estruturas de Betão**. In: Encontro Nacional de Betão Estrutural (BE2012), Porto, Portugal. out. 2012.

GIRARDET, A.; BOTON, C. **A parametric BIM approach to foster bridge project design and analysis**. *Automation in Construction*, v. 126, 1 jun. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103679>.

GOMES, T. A. *et al.* **Desafios BIM na implementação do plano geral de drenagem de Lisboa.** In: 4º Congresso Português De Building Information Modelling (ptBIM). Braga: UMinho Editora, 2022. p. 323–334. Disponível em: <https://doi.org/10.21814/uminho.ed.32.27>.

GUSMÃO, J. R. **Planejamento na contratação de obras públicas: estudo das disposições legais sobre projeto básico, licenciamento ambiental, definição dos custos e fonte dos recursos no processo de contratação de empreendimentos públicos.** 2008. MBA em Gerenciamento de Obras – Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA.

ISO 19650-1. **Organização e digitalização da informação sobre a construção e a engenharia de infraestrutura, incluindo a modelagem da informação da construção (BIM) – Parte 1: Conceitos e princípios.** 1. ed. Genebra: International Organization for Standardization, 2018.

ISO 16739. **Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries.** 1. ed. Genebra: International Organization for Standardization, 2023.

JEONG, Y. S. *et al.* **Benchmark tests for BIM data exchanges of precast concrete.** *Automation in Construction*, v. 18, n. 4, p. 469–484, jul. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.11.001>.

JIANG, S.; JIANG, L.; HAN, Y.; WU, Z.; WANG, N. **OpenBIM: an enabling solution for information interoperability.** *Applied Sciences*, 2019, v. 9. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/app9245358>.

JOÃO, H.; PIRES, D. C. **Automatização da modelação BIM de armaduras no projeto de estruturas.** 2017. 120 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Superior de Engenharia do Porto, Porto.

KHOURI, M. E. **Contribuição ao projeto de pilares de pontes de concreto armado com consideração das não-linearidades física e geométrica e interação solo-estrutura.** 2001. 231 p. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, SP, 2001.

KORUS, K.; SALAMAK, M.; JASIŃSKI, M. **Optimization of geometric parameters of arch bridges using visual programming FEM components and genetic algorithm.** *Engineering Structures*, v. 241, ago. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112465>.

KRAUS, S. **Möglichkeiten der modellbasierten Konformitätsprüfung von Brückenentwürfen des Straßenbaus mit IFC4x3.** 2023. 127 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil e Geoambiental, Universidade Técnica de Munique, Alemanha.

MANZIONE, L. **Proposição de uma estrutura conceitual de gestão do processo de projeto colaborativo com o uso do BIM.** 2013. 343 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, ago. 2013.

MANZIONE, L.; MELHADO, S. B. **Metodologia de cálculo do nível de desenvolvimento em um projeto em BIM.** III Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente

Construído, VI Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção, São Paulo, jun. 2013.

TISAKA, P. M. **Metodologia de cálculo da taxa do BDI e custos diretos para a elaboração do orçamento na construção civil**. Conselho Deliberativo do Instituto de Engenharia, São Paulo, SP, 2009.

COSTA, C. M. R. **Análise numérica e experimental do comportamento estrutural de pontes em arco de alvenaria de pedra**. 2009. 619 p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, 2009.

MARKIČ, Š. **IFC-Bridge: previous initiatives and their proposals**. In: *Proceedings of the 29th Forum Bioinformatic*, Dresden, Alemanha, 6 set. 2017. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/338083219>. Acessado em: 27 out. 2023.

MENG, W. *et al.* **CBR-RBR fusion based parametric rapid construction method of bridge BIM model**. *Advanced Engineering Informatics*, v. 57, ago. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.102086>.

MORA, R.; BÉDARD, C.; RIVARD, H. **A geometric modelling framework for conceptual structural design from early digital architectural models**. *Advanced Engineering Informatics*, v. 22, n. 2, p. 254-270, abr. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2007.03.003>.

NASCIMENTO, C.R.S.M.S *et al.* **BIM para infraestruturas rodoviárias: uma revisão sistemática**. 13º Simpósio Brasileiro de Gestão e Economia na Construção (SIBRAGEC) e 4º Simpósio Brasileiro de Tecnologia da Informação e Comunicação na Construção (SBTIC), Aracaju, SE, nov. 2023.

NUNES, DAYANNA E. C. *et al.* **Análise do Nível de Desenvolvimento Requerido para Modelagem em Bim de Projetos de Infraestrutura de Transportes**. 35º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET, nov. 2021.

PAIVA, D. *et al.* **Requisitos Normativos da ISO 19650 para o CDE – Análise de Conformidade**. In: 4º Congresso Português De Building Information Modelling (ptBIM). Braga: UMinho Editora, 2022. p. 257–267. Disponível em: <https://doi.org/10.21814/uminho>.

PARK, Sang I.; LEE, Sang-Ho; ALMASI, Ashkan; SONG, Jeong-Hoon. **Extended IFC-based strong form meshfree collocation analysis of a bridge structure**. *Automation in Construction*, v. 119, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103364>

PFEIL, W. A. **Pontes em Concreto Armado: Elementos de projetos, solicitações, dimensionamento**. 1 ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos Científicos S.A., 1979.

PLATTEAU, C. M. *et al.* **Implementation of geometry representations for infrastructure**. 2020. 63 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação) – Faculdade de Engenharia Civil e Geoambiental, Universidade Técnica de Munique, Alemanha.

RAMAJI, I. J.; MEMARI, A. M. **Interpretation of structural analytical models from the coordination view in building information models.** *Automation in Construction*, v. 90, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.025>.

SACKS, R.; GUREVICH, U.; SHRESTHA, P. **A review of building information modeling protocols, guides and standards for large construction clients.** *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, v. 21, p. 479-503, 2016. Disponível em: <https://www.itcon.org/paper/2016/29>. Acesso em: 12 ago. 2024.

SERRA, P. *et al.* **Implementação da metodologia BIM no projeto de obras de arte.** 10º Congresso Rodoferroviário Português, Lisboa, Portugal, 2022.

SINGH, T.; MAHMOODIAN, M.; WANG, S. **Enhancing open BIM interoperability: automated generation of a structural model from an architectural model.** *Buildings*, v. 14, p. 2475, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/buildings14082475>.

SONKA, S. **SAF - Structural Analysis Forma.** Czech Technical University. Prague, 2022.

SOUSA, I. M. R. **Geração automática de modelos geométricos de pontes e viadutos.** 2021. 88 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE.

STRIEDER, H. L.; SCHREINERT, G. G. **Metodologia BIM em obras de infraestrutura: uma revisão sistemática.** 24º Congresso Nacional de Conservação Rodoviária (ENACOR), 47º Reunião Anual de Pavimentação (RAPv), Bento Gonçalves, RS, ago. 2022. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/362752837>. Acesso em: 25 jun. 2023.

WANG, Z.; HE, Y.; MA, B. **Research on parametric modeling of cable-stayed bridge based on BIM.** In: *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer Verlag, 2019. p. 1434–1442. Disponível em: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-95588-9\\_126](https://doi.org/10.1007/978-3-319-95588-9_126).

XU, S. *et al.* **A parameter-driven method for modeling bridge defects through IFC.** *Journal of Computing in Civil Engineering*, v. 36, n. 4, jul. 2022. Disponível em: [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CP.1943-5487.0001026](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CP.1943-5487.0001026).

ZHANG, Xiao-Yang; HU, Zhen-Zhong; WANG, Heng-Wei; KASSEM, Mohamad. **An industry foundation classes web-based approach and platform for bidirectional conversion of structural analysis models.** *Computing in Civil and Building Engineering*, 2014, p. 390-397. Disponível em: <https://doi.org/10.1061/9780784413616.04>.