

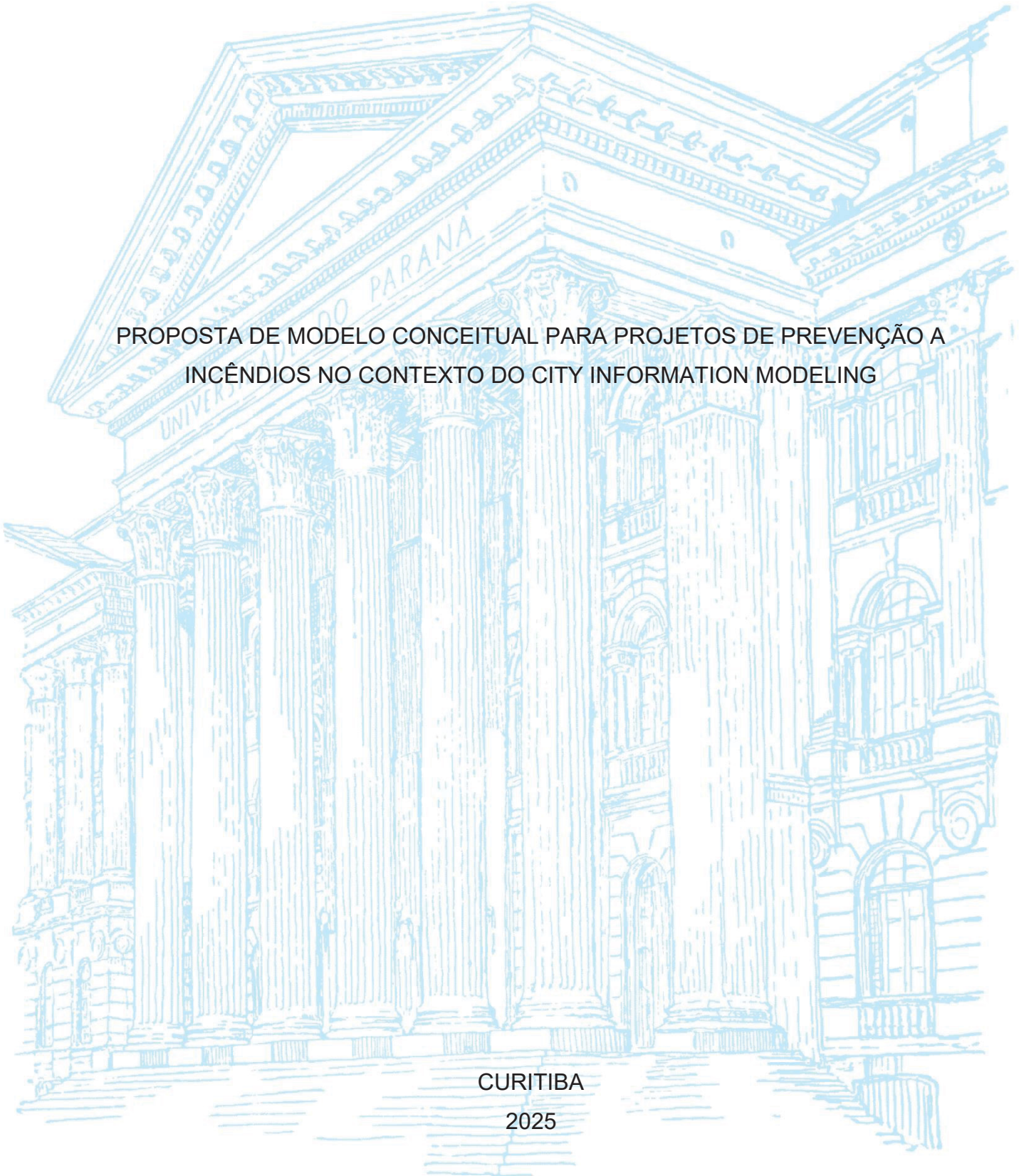
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GABRIELA PADILHA

PROPOSTA DE MODELO CONCEITUAL PARA PROJETOS DE PREVENÇÃO A  
INCÊNDIOS NO CONTEXTO DO CITY INFORMATION MODELING

CURITIBA

2025



GABRIELA PADILHA

PROPOSTA DE MODELO CONCEITUAL PARA PROJETOS DE PREVENÇÃO A  
INCÊNDIOS NO CONTEXTO DO CITY INFORMATION MODELING

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Ciências Geodésicas.

Orientadora: Profa. Dra. Luciene Stamato Delazari

CURITIBA

2025

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

Padilha, Gabriela

Proposta de modelo conceitual para projetos de prevenção a incêndios no contexto do City Information Modeling / Gabriela Padilha. – Curitiba, 2025.  
1 recurso on-line : PDF.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências da Terra, Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas.

Orientador: Luciene Stamato Delazari

1. Prevenção de incêndios. 2. Sistemas de informação geográfica. 3. Modelagem de informação da construção. 4. Imagem tridimensional - Cidades. I. Universidade Federal do Paraná. II. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas. III. Delazari, Luciene Stamato. IV. Título.

Bibliotecário: Elias Barbosa da Silva CRB-9/1894

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação CIÊNCIAS GEODÉSICAS da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da tese de Doutorado de **GABRIELA PADILHA**, intitulada: **PROPOSTA DE MODELO CONCEITUAL PARA PROJETOS DE PREVENÇÃO A INCÊNDIOS NO CONTEXTO DO CITY INFORMATION MODELING**, sob orientação da Profa. Dra. LUCIENE STAMATO DELAZARI, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de doutora está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 17 de Abril de 2025.

Assinatura Eletrônica

23/04/2025 11:39:17.0

LUCIENE STAMATO DELAZARI

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

24/04/2025 20:23:01.0

RAFAELA BORTOLINI

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS)

Assinatura Eletrônica

05/05/2025 12:23:50.0

ANDRE LUIZ ALENCAR DE MENDONÇA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS)

Assinatura Eletrônica

23/04/2025 11:42:33.0

MARCIO AUGUSTO REOLON SCHMIDT

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA)

*Dedico este trabalho àquelas que  
vieram antes de mim, cujas habilidades  
não puderam ser desenvolvidas.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à força maior do Universo, pelos caminhos que me trouxeram até aqui.

Agradeço à minha família, pelo incentivo ao estudo, desde a infância até hoje.

Agradeço à Prof. Luciene, pela orientação, pela paciência, parceria e pela disponibilização dos dados do CEPAG utilizados na pesquisa.

Agradeço à Coordenadora de Planos e Licenciamentos da CTA, Priscila, pela compreensão e auxílio.

Agradeço aos colegas do PPGCG pela ajuda quando necessário.

Obrigada!

## RESUMO

O termo *City Information Modeling* - CIM é um conceito recente que abrange, além de outros aspectos, a integração entre o *Building Information Modeling* e os Sistemas de Informação Geográfica. O CIM tem sido aplicado predominantemente em cidades, porém, uma vez que o ambiente de uma universidade possui características similares a um pequeno município, e ferramentas de modelagem da informação têm sido cada vez mais estudadas no âmbito universitário, o CIM pode ser uma ferramenta promissora para o gerenciamento do espaço físico nessas instituições. Este trabalho propõe um modelo de organização de dados para a implementação do CIM, tendo a Universidade Federal do Paraná como estudo de caso. A proposta parte de dados existentes na Coordenadoria de Urbanismo Territorial e Ambiental (CTA), unidade responsável pelo planejamento e gerenciamento do espaço físico da universidade, e de levantamentos realizados pelo projeto UFPR *CampusMap*. Como estrutura para a organização dos dados, foi utilizado como base o modelo conceitual do formato *CityGML*, aprovado pelo *Open Geospatial Consortium* (OGC) para padronizar as entidades, atributos e relações básicas de um modelo de cidade 3D. Foi proposta uma metodologia para a extensão desse modelo, a partir de atividades realizadas na CTA e de requisitos de informação elencados para cada atividade, a respeito da edificação e do entorno. Foi utilizada como exemplo a atividade de elaboração de projeto técnico de prevenção a incêndio e a desastre. Para construir o método, foram estudados os dados disponíveis e seu formato, e sua correspondência geométrica e semântica com o *CityGML*. O resultado consiste em um modelo conceitual de extensão do domínio do aplicativo (ADE) do *CityGML* para elaboração de projetos de incêndio, nesse trabalho denominada ADE\_FirePrev. Por meio desse modelo, será possível realizar a implementação dessa extensão em modelos 3D, como sugestão para futuras pesquisas.

Palavras-chave: Modelos 3D de cidades. *Building Information Modeling*. Sistemas de Informação Geográfica 3D. *CityGML*. IFC.

## ABSTRACT

The term *City Information Modeling* - CIM, is a recent concept that encompasses, among other aspects, the integration between *Building Information Modeling* and Geographic Information Systems. CIM has been applied predominantly in cities, however, since the environment of a university has similar characteristics to a small municipality, and information modeling tools have been increasingly studied at the university level, CIM can be a promising tool for the management of physical space in these institutions. This work proposes a data organization model for implementing CIM using the Federal University of Paraná as a case study. The proposal is based on existing data from the UFPR Coordination of Territorial and Environmental Urban Planning (CTA), the sector responsible for planning and managing the university's physical space, and from surveys carried out by the *CampusMap* project. As a structure for organizing the data, the conceptual model of the *CityGML* format is used as a basis, approved by the *Open Geospatial Consortium* (OGC) to standardize the basic entities, attributes and relationships of a 3D city model (KOLBE et al, 2021). A methodology was proposed for extending this model, based on activities carried out at CTA and the level of information needed (LOIN) for its execution, regarding the building and its surroundings. The activity of preparing a technical project for fire and disaster safety was used as an example. To build the method, the available data and their format were studied, as well as their geometric and semantic correspondence with *CityGML*. The result was a conceptual model for extending the *CityGML* application domain (ADE) for designing fire safety projects, in this work called ADE\_FirePrev. Using this model, it will be possible to implement this extension in 3D models, as a suggestion for future research.

Keywords: 3D city models. *Building Information Modeling*. 3D Geographic Information Systems. *CityGML*. IFC.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ESTRUTURA DO <i>CITY INFORMATION MODELING</i> POR GIL.....	16
FIGURA 2 – DADOS VETORIAIS E MODELO BIM DE EDIFÍCIO DA UFPR.....	19
FIGURA 3 – CAMADAS PARA CONSTRUÇÃO DO GÊMEO DIGITAL .....	26
FIGURA 4 – INTERFACE DO <i>WEBSIG UFPR CAMPUSMAP</i> .....	28
FIGURA 5 - ESTRUTURA DO <i>CITYGML 3.0</i> .....	37
FIGURA 6 - EXEMPLO DE DIAGRAMA UML.....	38
FIGURA 7– MÓDULO <i>CORE – CITY MODELS AND CITY OBJECTS</i> .....	39
FIGURA 8 – MÓDULO <i>CORE – SPACE CONCEPT</i> .....	41
FIGURA 9 – MÓDULO <i>CORE – GEOMETRY AND LOD</i> .....	42
FIGURA 10 - REPRESENTAÇÃO DO MESMO EDIFÍCIO DO MUNDO REAL NOS NÍVEIS DE DETALHE 0-3.....	43
FIGURA 11 – MÓDULO <i>BUILDING</i> .....	44
FIGURA 12– MÓDULO <i>CONSTRUCTION</i> .....	45
FIGURA 13 – MÓDULO <i>TRANSPORTATION</i> .....	46
FIGURA 14 - TRECHO DO MODELO CONCEITUAL DO IFC.....	47
FIGURA 15 – DIAGRAMA DE CLASSES IFC.....	48
FIGURA 16 - INFORMAÇÕES REFERENTES AO <i>IfcWallStandardCase</i> .....	49
FIGURA 17 - CONJUNTOS DE PROPRIEDADES (PSET) E CONJUNTOS DE QUANTIDADES (QTO) .....	50
FIGURA 18 – DIAGRAMA UML DE UMA ADE DA VERSÃO 3.0 DO <i>CITYGML</i> .....	54
FIGURA 19 – DIAGRAMA UML DA ADE GEOBIM.....	54
FIGURA 20 – DIAGRAMA UML DA ADE IMGEO .....	55
FIGURA 21 – CARACTERÍSTICAS DE CONVERSÃO IFC- <i>CITYGML</i> NA IFCADE.....	56
FIGURA 22 – VISÃO GERAL DA METODOLOGIA .....	58
FIGURA 23– MODELO CONCEITUAL DO LEVANTAMENTO DE EQUIPAMENTOS DE INCÊNDIO.....	60
FIGURA 24 – MODELO CONCEITUAL DO UFPR CAMPUS MAP .....	61
FIGURA 25 – PROCESSO DE CRIAÇÃO DE CLASSES DA ADE.....	70
FIGURA 26- ATRIBUTOS DA CLASSE <i>IfcAxis2Placement3D</i> .....	91
FIGURA 27 – ALTURAS RELACIONADAS À CLASSE <i>IfcSpace</i> .....	93
FIGURA 28 – TIPOS DE OPERAÇÃO DA CLASSE <i>IfcDoor</i> .....	104

FIGURA 29 – ADE_FirePrev PARTE A.....	125
FIGURA 30- ADE_FirePrev PARTE B .....	126
FIGURA 31 – DUTOS DE ENTRADA E SAÍDA DE AR .....	130
FIGURA 32 - CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS DE REVESTIMENTO DE PISO .....	134
FIGURA 33 - CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS EXCETO REVESTIMENTO DE PISO .....	134

## LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – TECNOLOGIAS UTILIZADAS EM <i>SMART CAMPI</i> - continua .....	29
QUADRO 2 – CLASSIFICAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES DA UFPR QUANTO À OCUPAÇÃO - continua .....	64
QUADRO 3 – CLASSIFICAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES QUANTO À CARGA DE INCÊNDIO.....	66
QUADRO 4 - CLASSIFICAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES QUANTO À ALTURA - continua .....	66
QUADRO 5 – AQUISIÇÃO DE OBJETOS SEGUNDO A ESCALA.....	68
QUADRO 6 – ELEMENTOS REPRESENTÁVEIS NO <i>CITYGML</i> .....	69
QUADRO 7 – REQUISITOS DE INFORMAÇÃO - continua.....	73
QUADRO 8 – OBJETOS E CLASSES - continua .....	76
QUADRO 9 – NÍVEIS DE DETALHE - continua.....	86
QUADRO 10 – DIMENSÕES MÍNIMAS DE REPRESENTAÇÃO DE ÁREA E LARGURA.....	88
QUADRO 11 - DIMENSÕES MÍNIMAS DE REPRESENTAÇÃO DE ÁREA E LARGURA.....	88
QUADRO 12 – ATRIBUTOS PARA CADA OBJETO – continua.....	88
QUADRO 12 – ATRIBUTOS PARA CADA OBJETO – conclusão .....	89
QUADRO 14 – ANÁLISE DO OBJETO SALA - continua .....	91
QUADRO 15 – ANÁLISE DO OBJETO EDIFICAÇÃO – continua.....	93
QUADRO 16 – ANÁLISE DO OBJETO ABERTURA .....	96
QUADRO 17 – ANÁLISE DO OBJETO RESERVATÓRIO.....	97
QUADRO 18 – ANÁLISE DO OBJETO ESCADA – continua.....	98
QUADRO 18 – ANÁLISE DO OBJETO ESCADA – conclusão .....	99
QUADRO 20 – ANÁLISE DO OBJETO CORREDOR .....	101
QUADRO 21 – ANÁLISE DO OBJETO PORTA - continua.....	102
QUADRO 22 - ANÁLISE DO OBJETO CORRIMÃO .....	104
QUADRO 23 - ANÁLISE DO OBJETO PORTÃO.....	105
QUADRO 24 – ANÁLISE DO OBJETO PISO .....	105
QUADRO 25 – ANÁLISE DO OBJETO PAREDE .....	106
QUADRO 26 – ANÁLISE DO OBJETO FORRO .....	106
QUADRO 27 – ANÁLISE DO OBJETO COBERTURA .....	107

QUADRO 28 – ANÁLISE DO OBJETO VIA .....	107
QUADRO 29 - ANÁLISE DO OBJETO LAJE .....	108
QUADRO 30 – ANÁLISE DO OBJETO VIGA .....	108
QUADRO 31 – ANÁLISE DO OBJETO FACHADA.....	109
QUADRO 32 – ANÁLISE DO OBJETO ELEVADOR .....	109
QUADRO 33 – ANÁLISE DO OBJETO ANDAR .....	110
QUADRO 34 – ANÁLISE DO OBJETO ENTRADA/SAIDA DE AR – continua.....	110
QUADRO 35 - ANÁLISE DO OBJETO LUMINÁRIA DE EMERGÊNCIA .....	112
QUADRO 36 - ANÁLISE DO OBJETO PLACA DE SINALIZAÇÃO DE EMERGÊNCIA .....	113
QUADRO 37 - ANÁLISE DO OBJETO EXTINTOR.....	114
QUADRO 38 - ANÁLISE DO OBJETO ACIONADOR DE ALARME .....	114
QUADRO 39 - ANÁLISE DO OBJETO AVISADOR DE ALARME.....	115
QUADRO 40 - ANÁLISE DO OBJETO DETECTOR DE FUMAÇA .....	115
QUADRO 41 - ANÁLISE DO OBJETO HIDRANTE - continua.....	116
QUADRO 42 - ANÁLISE DO OBJETO TUBULAÇÃO DE INCÊNDIO – continua ...	118
QUADRO 43 - ANÁLISE DO OBJETO TUBULAÇÃO DE INCÊNDIO .....	120
QUADRO 44 - ANÁLISE DO OBJETO REGISTRO DE RECALQUE .....	120
QUADRO 45 - ANÁLISE DO OBJETO REGISTRO DE CHUVEIROS AUTOMÁTICOS.....	121
QUADRO 46 – CORRESPONDÊNCIA ENTRE ATRIBUTOS - continua.....	121
QUADRO 47 – NOVAS CLASSES CRIADAS - continua .....	127
QUADRO 48 – DOMÍNIOS DOS ATRIBUTOS DAS NOVAS CLASSES .....	129
QUADRO 49 – CLASSES DERIVADAS DAS EXISTENTES - continua .....	130
QUADRO 50 – CLASSES DERIVADAS DAS EXISTENTES - continua .....	132

## LISTA DE SIGLAS

BIM	– <i>Building Information Modeling</i>
CEPAG	– Centro de Pesquisas Aplicadas em Geoinformação
CIM	– <i>City Information Modeling</i>
ET-EDGV Vetoriais	– Especificação Técnica para Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais
ET-ADGV Vetoriais	– Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais
GML	– <i>Geography Markup Language</i>
IFC	– <i>Industry Foundation Class</i>
IoT	– <i>Internet of Things</i>
JSON	– <i>JavaScript Object Notation</i>
LoD	– <i>Level of Development</i>
LOD	– <i>Level of Detail</i>
LOIN	– <i>Level of Information Needed</i>
OGC	– <i>Open Geospatial Consortium</i>
SIG	– Sistema de Informação Geográfica
TIC	– Tecnologia de Informação e Comunicação
UCM	– UFPR <i>CampusMap</i>
UFPR	– Universidade Federal do Paraná
UML	– <i>Unified Modeling Language</i>
XML	– <i>Extensible Markup Language</i>

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 OBJETIVOS .....	23
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b> .....	<b>25</b>
2.1 INICIATIVAS DA APLICAÇÃO DO CITY INFORMATION MODELING EM CIDADES E UNIVERSIDADES .....	25
2.2 <i>BUILDING INFORMATION MODELING</i> .....	31
2.3 CITY INFORMATION MODELING .....	34
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>58</b>
3.1 MATERIAIS .....	59
3.2 UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ .....	61
3.3 ESCOLHA DA ATIVIDADE .....	62
3.4 DEFINIÇÃO DAS CLASSES .....	67
3.5 COMPATIBILIZAÇÃO GEOMÉTRICA .....	67
3.6 COMPATIBILIZAÇÃO SEMÂNTICA .....	69
3.7 MODELO CONCEITUAL DA ADE .....	70
<b>4. RESULTADOS</b> .....	<b>73</b>
4.1 DEFINIÇÃO DAS CLASSES .....	73
4.2 COMPATIBILIZAÇÃO GEOMÉTRICA .....	85
4.3 COMPATIBILIZAÇÃO SEMÂNTICA .....	88
4.4 MODELO CONCEITUAL DA ADE_FIREPREV .....	124
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>136</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>139</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os modelos tridimensionais de cidades são ferramentas que têm possibilitado análises de dados em diversas aplicações no contexto do urbanismo, como: potencial de geração de energia, cadastro urbano, planejamento de infraestrutura, otimização de rotas, propagação de ruído, estimativa de demanda de energia, resposta a emergências, estimativa de sombreamento em edificações, gerenciamento de redes de abastecimento (Biljecki et al., 2015). Os Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) são tecnologias avançadas fundamentais na manipulação desses modelos, por meio das quais é possível organizar dados espaciais georreferenciados armazenados em um banco de dados (Goodchild, 2009), além de realizar consultas e análises estatísticas diversas (Badwi; Ellaithy; Youssef, 2022). Para a utilização do SIG em todo o seu potencial, é essencial que, além da representação geométrica, seja incorporada uma classificação semântica para facilitar as indagações temáticas que as aplicações do modelo possam requerer (Fisher et al., 1999; Yao et al., 2018). Modelos 3D semânticos de cidades são modelos tridimensionais que contém conhecimento urbano ou informações semânticas, em oposição a um modelo 3D que contém apenas informações geométricas puras (Billen et al., 2014).

Uma vez que as representações 3D semânticas da cidade são modelos que contém informação - predominantemente de edifícios e estruturas de engenharia – é possível estabelecer um paralelo com o conceito de Modelagem da Informação da Construção - *Building Information Modeling* (BIM), pois ambos são métodos para modelagem, criação e análise de representações tridimensionais de objetos físicos do ambiente (Kolbe e Donaubaue, 2021). O BIM, definido por Eastman et al. (2011) como “uma tecnologia de modelagem e um conjunto associado de processos para criar, comunicar e analisar modelos de construção”, está majoritariamente voltado à modelagem das edificações e seus componentes construtivos, apoiando e monitorando a gestão de ativos físicos, como edificações, redes e mobiliário urbano, e de processos, nas fases de planejamento, construção e ciclo de vida.

A sinergia entre os conceitos de modelos 3D semânticos de cidade e o BIM propiciou a concepção de um novo termo: o *City Information Modeling* (CIM). Tratado por alguns autores como uma integração entre o SIG e o BIM (Xu et al., 2021), ou então como uma forma de tecnologia BIM aplicada especificamente às cidades, o

termo CIM foi definido por Gil (2020, p. 512) conforme descrito a seguir (tradução nossa):

*City Information Modeling* é a prática do uso de tecnologias interativas digitais no processo de planejamento urbano, por todos os atores e partes interessadas, para entregar colaborativamente a visão de uma *Smart City*: uma cidade sustentável, inclusiva, saudável, próspera e participativa. O CIM consiste em um ecossistema de ferramentas interoperáveis (de código aberto) para diferentes domínios do conhecimento, para processamento de dados, análise urbana, projeto, modelagem, simulação e visualização. Essas ferramentas são conectadas via ontologias compartilhadas para um modelo de informação de cidade semanticamente rico, baseado em padrões abertos, em um banco de dados multiescala e multitemporal, que integra uma ampla variedade de fontes de dados abertos (big data), representando toda a gama de feições urbanas, sistemas e processos.

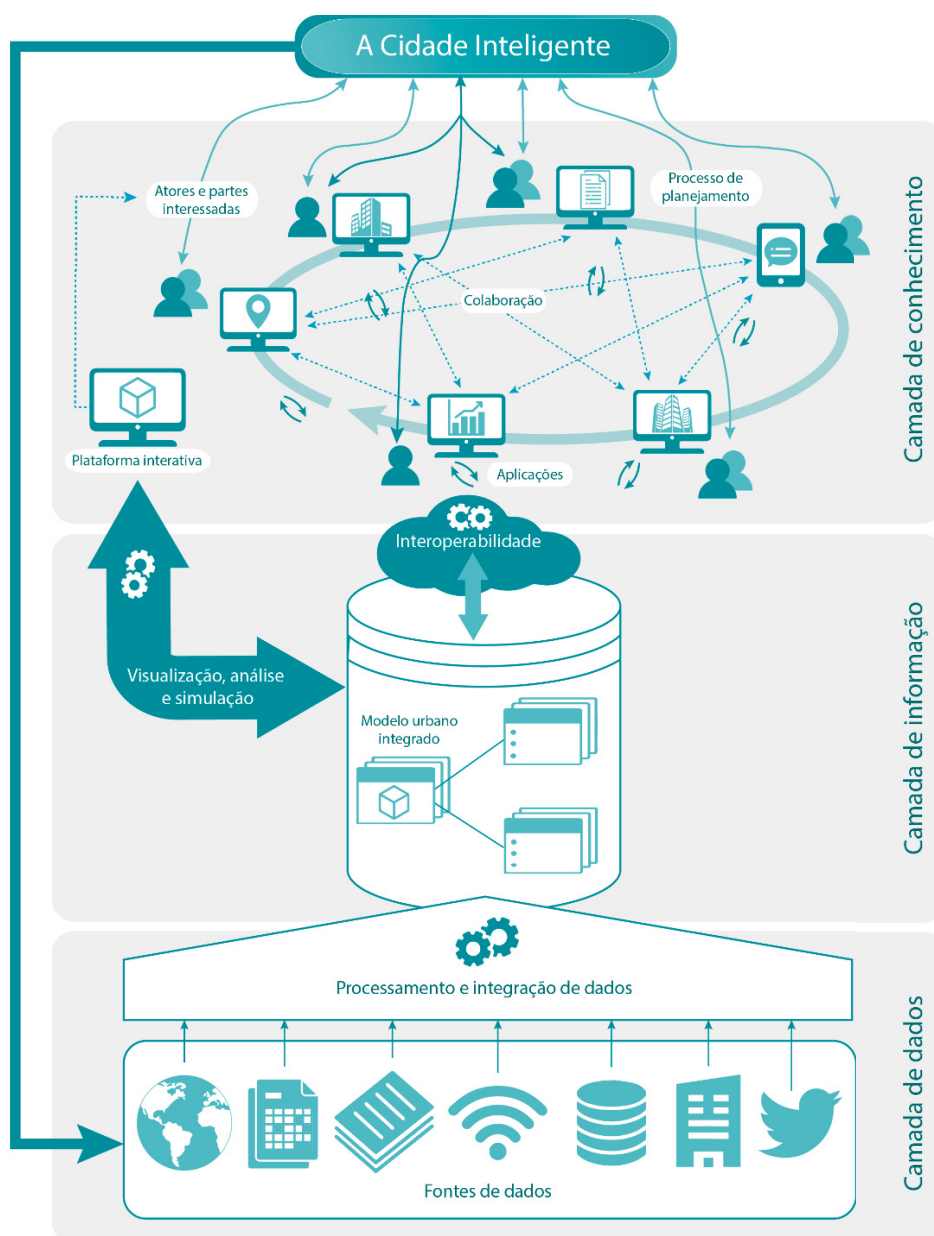
A estrutura do *City Information Modeling* (Figura 1) é composta por três camadas: dados, informação e conhecimento, conforme proposto por Gil (2020).

A camada de dados compreende a base da estrutura, abrangendo diferentes fontes e tipos de formato de dados. A interoperabilidade entre diferentes setores, que eventualmente utilizam diferentes sistemas, formatos, aplicativos, visualizações, modelo e qualidade de dados espaciais consiste em uma das questões cruciais para uma efetiva aplicação do CIM. Conforme de Amorim (2015, p. 96-97), um aspecto essencial do *City Information Modeling* seria as “bases de dados que viabilizam as aplicações do sistema. As informações devem estar centralizadas num modelo único e serão acessadas e transacionadas entre os vários subsistemas do CIM, e seus administradores”.

Para que seja atingida a camada de informação do CIM, os dados devem estar organizados em um modelo conceitual, no qual suas características e relacionamentos serão definidos. O modelo conceitual de dados representa uma visão abstrata dos dados e suas inter-relações, sem o envolvimento de complexidades técnicas associadas ao modelo lógico ou físico (Elmasri e Navathe, 2015). Nos modelos 3D semânticos de cidades, a estrutura ontológica, que inclui classes temáticas, atributos e suas inter-relações é armazenada em um modelo conceitual (Kolbe, 2009).

A camada do conhecimento conecta as informações da camada de informação em diversas aplicações, como suporte para análises, projetos, modelagem, simulação, relatórios, colaboração e visualização (GIL, 2020).

FIGURA 1 - ESTRUTURA DO CITY INFORMATION MODELING POR GIL



FONTE: Gil (2020)

A implementação do *City Information Modeling (CIM)* tem sido amplamente estudada como uma ferramenta de apoio à gestão urbana (Padilha e Delazari, 2022). Neste contexto, parte-se da ideia de que o CIM poderia ser aplicado à administração da infraestrutura física de um campus universitário, considerando as semelhanças existentes entre esses ambientes e as cidades. Um campus universitário é caracterizado por uma diversidade de elementos, incluindo edificações, redes de infraestrutura, áreas verdes, vias de circulação e mobiliário urbano. No entanto, as informações relacionadas à sua estrutura organizacional são frequentemente

armazenadas em múltiplos repositórios e formatos distintos, o que representa um desafio para a integração e o gerenciamento eficaz desses dados.

O problema desta pesquisa consistiu em definir um modelo de organização de dados voltado para uma aplicação específica, utilizando a Universidade Federal do Paraná, como estudo de caso. A principal hipótese do estudo é que uma extensão do *CityGML*, um formato padrão para modelos tridimensionais de cidades, tem o potencial de organizar dados para tarefas específicas, de modo a facilitar análises e aprimorar a gestão de edificações. Assim, o objetivo deste trabalho foi propor a criação de um modelo conceitual de extensão do domínio de aplicação para a elaboração de projetos técnicos para prevenção de incêndios e desastres (PTPID's), que possa estruturar o *City Information Modelling*, com ênfase no ambiente universitário. O *CityGML*, formato aprovado pelo *Open Geospatial Consortium* (OGC) para padronizar entidades, atributos e relações básicas em modelos tridimensionais de cidades (Kolbe et al., 2021), será apresentado na Seção 2.3.1.

A proposta teve como ponto inicial dados existentes na Coordenadoria de Urbanismo Territorial e Ambiental (CTA) da UFPR, a unidade responsável pelo planejamento e gerenciamento do espaço físico da universidade, e que desenvolve atividades nas quais a informação das edificações e do entorno é amplamente utilizada. Para desenvolver um projeto técnico para prevenção de incêndios e desastres, informações detalhadas sobre a edificação e seu entorno são fundamentais para determinar quais medidas de segurança devem ser implementadas no edifício. Este tipo de projeto foi escolhido para a pesquisa devido à sua relevância, pois sua elaboração para edifícios de *campi* universitários é essencial para garantir a segurança de alunos, professores e funcionários, além de proteger o patrimônio da instituição. Como ambientes com grande fluxo de pessoas, os *campi* universitários exigem uma atenção especial para a minimização dos riscos de incêndios, que podem ser causados por falhas elétricas, explosões em laboratórios, uso inadequado de equipamentos ou outros fatores. Um projeto de prevenção bem estruturado permite a identificação de possíveis áreas de risco, o planejamento de rotas de fuga adequadas, a instalação de sistemas de alarme e combate ao fogo, além de promover a conscientização da comunidade acadêmica sobre a importância da segurança.

Embora o *CityGML* seja um modelo bem documentado e amplamente aplicado, no contexto de projetos técnicos de prevenção de incêndios e desastres, ele

apresenta lacunas em relação a informações específicas sobre determinados elementos da edificação, como alarmes e tubulações.

Para suprir essa deficiência, este estudo propõe a integração de dados vetoriais e modelos BIM ao modelo conceitual do *CityGML* (Figura 2). Os dados vetoriais foram fornecidos pelo Projeto UFPR CampusMap (UCM), uma iniciativa que disponibiliza dados cartográficos para toda a comunidade universitária. Esse projeto tem facilitado a gestão e o planejamento da infraestrutura, bem como o planejamento de contratos em diversos setores.

Desta forma, o presente trabalho propõe um modelo conceitual para a organização dos dados acima mencionados no *CityGML*, utilizando uma *Application Domain Extension* (ADE). Uma ADE é um mecanismo usado para incorporar dados de aplicação específicos no modelo conceitual de forma sistemática e bem estruturada, preservando os conceitos principais. (Kolbe et al., 2021). Duas ADEs importantes na literatura, *GeoBIM* (De Laat e van Berlo, 2011) e *IfcADE* (Biljecki et al., 2021), utilizam dados IFC para enriquecer o modelo *CityGML*. Além dos dados IFC, outros tipos de informações, vindas de sensores, por exemplo, podem ser incorporadas ao modelo.

Neste estudo, foi utilizada a versão 3.0 do *CityGML*. No entanto, devido à sua publicação relativamente recente, a literatura disponível sobre *Application Domain Extensions* (ADEs) ainda é limitada (Bachert et al., 2024). Entre os trabalhos recentes, destaca-se Petrova-Antonova et al. (2024), que propõem um modelo conceitual para um módulo *Vegetation ADE*; Bachert et al. (2024), que investigam a adaptação do *Energy ADE* para o *CityGML* 3.0, visando a conversão de dados sem perdas e a maximização dos recursos da nova versão; Saeidian et al. (2023), que desenvolvem um ADE para suporte à administração de terras; e Eriksson et al. (2020), que apresentam uma proposta para um padrão nacional de construção na Suécia. Essas ADEs contribuem significativamente para domínios específicos, evidenciando que o *CityGML* 3.0 proporciona uma maior flexibilidade para a modelagem em aplicações urbanas.



rede, promovem o letramento digital, a governança e a gestão colaborativas e utilizam tecnologias para solucionar problemas concretos, criar oportunidades, oferecer serviços com eficiência, reduzir desigualdades, aumentar a resiliência e melhorar a qualidade de vida de todas as pessoas, garantindo o uso seguro e responsável de dados e das tecnologias da informação e comunicação.

Os gêmeos digitais, por sua vez, têm o potencial de integrar tecnologias como o BIM e as cidades inteligentes, aproveitando os dados que são coletados pelas tecnologias da informação e comunicação (TICs) e os introduzindo automaticamente nos modelos e seus sistemas. Dessa forma, é mantida uma réplica digital capaz de interagir de forma autônoma com a cidade (Ferré-Bigorra; Casals; Gangoells, 2022). Vários projetos conduzidos em universidades (Jastive, 2014; Afaneh e Shahrour, 2017; Fortes et al, 2019; USMART, 2020; SALES, 2021; PORTLAND STATE UNIVERSITY, 2022; UFCG, 2022; UFPR, 2022; UFRN, 2022; UNB, 2022; UNICAMP, 2022a; UNICAMP, 2022b; UNIVERSITY OF BIRMINGHAM, 2022) têm se utilizado de TICs, SIGs, BIM e *Digital twins* para implementar ações nos *Smart Campi*. São iniciativas que não se limitam apenas a apoiar os processos de aprendizagem e ensino, mas todos os aspectos da vida do *campus*, como infraestrutura, sustentabilidade ambiental, saúde e governança.

Na Universidade Federal do Paraná (UFPR), o projeto UFPR *CampusMap* ([www.campusmap.ufpr.br](http://www.campusmap.ufpr.br)) (UCM), desenvolvido no Centro de Pesquisas Aplicadas em Geoinformação (CEPAG), tem realizado o mapeamento dos territórios da universidade, interna e externamente (Universidade Federal do Paraná, 2022). No âmbito do projeto UCM são realizadas pesquisas em áreas como navegação *indoor* e desenvolvimento de *WebGIS*. O projeto consiste em um dos primeiros passos para a aplicação do conceito de cidade inteligente na administração da Universidade, possibilitando o uso sustentável dos recursos (Delazari et al., 2019). A Superintendência de Infraestrutura da UFPR tem utilizado os dados vetoriais provenientes dos levantamentos do projeto UCM de maneira pontual em suas atividades, assim como tem conduzido iniciativas internas para a implantação do BIM em novas contratações de projetos e levantamento de edificações existentes. No entanto, a organização dos dados vetoriais, que segue as normas de estruturação de dados geoespaciais (ET-EDGV), não possui integração com os dados de modelagem da informação da construção. Para que o potencial de utilização das informações obtidas sobre o espaço físico seja aumentado, é importante que os dados estejam organizados visando sua interoperabilidade.

Além das universidades, existe um esforço do governo federal de se criar ambiente propício para que tecnologias de modelagem da informação, como o CIM sejam introduzidas na construção civil brasileira. Em 2009, houve o primeiro marco da mobilização do governo federal para o tema, com a instituição, por solicitação do então Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio (MDIC), da Comissão de Estudo Especial – Modelagem da Informação da Construção (CEE-134), dando início ao desenvolvimento de normas para o BIM. Em 2010, foi publicada a primeira norma pela ABNT, a tradução da ISO 12006-24, que estabelece uma estrutura para o desenvolvimento de sistemas de classificação do ambiente construído (BIM Forum Brasil, 2023). Em 2011, foi publicada a NBR 15965, considerada a primeira norma especificamente de BIM, no Brasil, sendo um dos 900 documentos da ABNT para a construção civil. Ela é composta por 13 tabelas, adaptadas das 15 tabelas da *OmniClass* — sistema utilizado na construção civil dos EUA e Canadá (Deskgraphics, 2023). Em 2018 foi criado o Comitê Estratégico de Implementação do *Building Information Modeling* (CE-BIM) - por meio do Decreto nº 9.377. Foi instituída, por esse documento, a Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modeling* no Brasil - Estratégia BIM BR, cuja finalidade seria promover um ambiente adequado ao investimento em BIM e a sua difusão no País (Brasil, 2018). Posteriormente o dispositivo foi revogado pelo Decreto nº 11.888, vigente a partir de 22 de janeiro de 2024. Nele estão descritos os objetivos da Estratégia BIM-BR, que, entre outras intenções, busca difundir o BIM e os seus benefícios, coordenar a estruturação do setor público para a sua adoção e criar condições favoráveis para o investimento público e privado nesse ambiente (Brasil, 2024). Em abril de 2020 foi estabelecida a utilização do *Building Information Modeling* - BIM na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia, realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, por meio do Decreto 10.306, de 2 de abril de 2020. No documento consta que desde janeiro de 2021, o BIM deve ser utilizado na elaboração de projetos de novas obras e ampliações consideradas relevantes para sua disseminação e que, a partir de janeiro de 2024, deverá ser utilizado também na execução de obras consideradas relevantes. Em janeiro de 2028, essa orientação se estenderá ao gerenciamento e manutenção do empreendimento após a sua construção (Brasil, 2020). Além disso, a Lei nº 14.133, de 1º de abril de 2021, a Nova Lei de Licitações, menciona tecnologias e processos integrados similares ou mais avançados que venham complementar ou até mesmo substituir o BIM (Brasil, 2021).

Entretanto, apesar do apoio do governo federal, o processo de introdução dessas tecnologias não tem sido conduzido sem dificuldades, tanto na administração pública como no setor privado, no qual a adoção do BIM tem sido bastante discrepante entre as empresas. Uma pesquisa realizada pelo BIM Forum Brasil, de abril a maio de 2022, indicou que apenas 26% dos profissionais tinham alguma experiência em BIM, majoritariamente do setor privado. Dos que já iniciaram a implantação do BIM em seu trabalho, 70% tiveram seus esforços descontinuados, em geral por falta de recursos. Os que possuem experiência, utilizam o BIM em menos de 50% dos seus projetos (BIM Forum Brasil, 2023).

Conforme a Estratégia BIM BR (Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, 2018), a percepção atual é a de que a sociedade brasileira ainda não tem amplo conhecimento do BIM, e que sua difusão é necessária, assim como a apresentação dos benefícios que trará para o cidadão brasileiro e para o setor de edificações e infraestrutura. A Estratégia prevê a execução de ações buscando a popularização do BIM, sendo uma dessas a “implementação de plano de comunicação para divulgar o conceito BIM, seus benefícios, boas práticas e casos de sucesso, principalmente por meio de publicações, eventos e uso de mídias digitais” (Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, 2018, p. 15). A Estratégia ainda preconiza que é necessário prospectar, estimular e desenvolver novas aplicações considerando o BIM como instrumento de transformação digital, aderente a outras tecnologias da informação e comunicação para o setor de edificações e infraestrutura. Uma das ações, nesse aspecto, seria “estimular o aprimoramento e a aplicação de soluções de Tecnologia da Informação e Comunicação – TIC” (Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, 2018, p. 15). Além disso, a Estratégia também aconselha incentivar a concorrência no mercado por meio de padrões neutros de interoperabilidade BIM, promovendo fluxos de trabalho em formatos abertos para colaboração. Diante desse cenário, a proposta deste trabalho está alinhada com os esforços do governo federal para a difusão de tecnologias de modelagem de informação, boas práticas para sua utilização e interoperabilidade (Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços, 2018).

Outro aspecto para o qual essa pesquisa visa contribuir seria o gerenciamento do patrimônio físico da União, cujos imóveis, hoje, são avaliados em aproximadamente R\$ 1,34 trilhão. Esses imóveis – cujo número chega a 700 mil, entre bens de uso comum, dominiais e de uso especial - são geridos de maneira ineficiente

e, dentre os problemas identificados pelo Tribunal de Contas da União estão, além da gestão inadequada, a falta de ocupação, o abandono e a depredação. O gasto da União com imóveis é elevado, as despesas anuais com aluguel são da ordem de R\$ 1,6 bilhão, as despesas condominiais estão estimadas em R\$ 180 milhões, e a depreciação dos bens é de aproximadamente R\$ 18 bilhões. Além disso, a União deixa de arrecadar receitas patrimoniais dos imóveis ocupados por terceiros e não caracterizados corretamente (Tribunal de Contas, 2022). Na Universidade Federal do Paraná, a principal carência para subsidiar decisões referentes ao espaço físico era a falta de dados e informações úteis. Existe a necessidade de informações atuais e confiáveis para fins de planejamento institucional, planejamento orçamentário, elaboração de planos e projetos, decisão sobre investimentos de capital e de manutenção, distribuição eficiente do uso dos espaços dos edifícios, planejamento de eventos, adequação dos edifícios às normas de segurança contra incêndio, entre outras atividades (Universidade Federal do Paraná, 2017). Nesse cenário, ferramentas de modelagem de informação com o CIM podem fornecer um importante auxílio à gestão dos ativos imobiliários e atividades que necessitam de informações espaciais.

## 1.1 OBJETIVOS

Nessa seção, serão apresentados os objetivos deste trabalho.

### 1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é propor a criação de um modelo conceitual de extensão do domínio de aplicação para a elaboração de projetos técnicos para prevenção de incêndios e desastres (PTPID's), que possa estruturar o *City Information Modeling*, com ênfase no ambiente universitário.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- a) Identificar quais são os dados hoje existentes na Universidade a respeito do espaço físico, em qual formato estão e como estão organizados;

- b) Determinar, com base na literatura e iniciativas existentes, um formato a ser utilizado como padrão para o modelo 3D semântico dos *campi*;
- c) Analisar a correspondência semântica e geométrica entre as classes dos dados existentes e do formato escolhido no item anterior;
- d) Construir um modelo conceitual para a organização dos dados de uma aplicação para a atividade de elaboração de projeto técnico de prevenção a incêndio e a desastre.

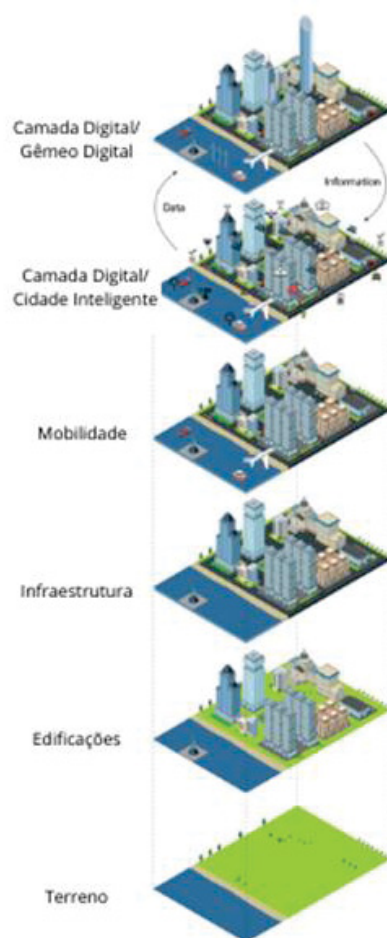
## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 INICIATIVAS DA APLICAÇÃO DO CITY INFORMATION MODELING EM CIDADES E UNIVERSIDADES

Nas últimas décadas, os modelos de cidades 3D parecem ter sido usados predominantemente para visualização; no entanto, hoje estão sendo cada vez mais empregados em vários domínios e para uma ampla gama de tarefas (Biljecki et al., 2015). Os modelos 3D semânticos de várias cidades do mundo, como Viena, Zurique, Singapura, Nova York, Boston, Berlim, Austin e Filadélfia estão disponíveis na web (Simonelli, 2022). No Brasil, Curitiba (Curitiba 3D, 2025), Rio de Janeiro (Reviver Centro, 2025) e São Paulo (Portal GeoSampa, 2025) são exemplos de cidades que possuem modelos tridimensionais com algumas informações integradas. “Modelo 3D de cidade” ainda é o termo dominante na área do SIG 3D (Ketzler et al., 2020), apesar de outros conceitos, como os gêmeos digitais, terem ganhado cada vez mais espaço.

O gêmeo digital é uma “representação digital de um produto exclusivo ativo ou de um sistema exclusivo de produto-serviço, que compreende suas características, propriedades, condições e comportamentos selecionados por meio de modelos, informações e dados, em uma única ou em múltiplas fases do ciclo de vida” (Stark e Damerau, 2019, p. 1, tradução nossa). Esse conceito foi estendido às cidades com o objetivo de criar um modelo de realidade atualizado em tempo real para representar as mudanças na estrutura urbana construída (Winter e Tomko, 2018). Os gêmeos digitais de cidades englobam dados de sensores em tempo real, os modelos 3D semânticos e simulações (Ketzler et al., 2020). São construídos por meio de várias camadas de informações, conforme representado na Figura 3. Essas camadas compreendem terreno, infraestrutura, edifícios, mobilidade e dispositivos de IoT (*Internet of Things*). Essa última é usada para coletar dados da cidade, que podem então ser inseridos no gêmeo digital. Podem ser executadas simulações, que por sua vez, criarão informações com as quais é possível alterar o mundo físico, gerenciando-o da melhor forma possível (White et al., 2021). Xiong'an New Area, Kunming e Shenzhen, na China; Georgetown, na Malásia; New Mexico, nos Estados Unidos, Rennes, na França e New South Wales, na Austrália, são exemplos de territórios que possuem gêmeos digitais (World Economic Forum, 2022).

FIGURA 3 – CAMADAS PARA CONSTRUÇÃO DO GÊMEO DIGITAL



FONTE: Adaptado de White et al. (2021).

A modelagem da cidade deve abranger aspectos que sejam relevantes para os problemas que requerem soluções inteligentes. Os dados e aplicativos das cidades inteligentes precisam replicar, tanto quanto possível, o estado da cidade e simular possíveis alternativas futuras (Jovanovic et al., 2020). A cidade inteligente possui sua inteligência na combinação de redes de telecomunicações digitais (os nervos), inteligência ubíqua incorporada (o cérebro), sensores e etiquetas (os órgãos sensoriais) e software (o conhecimento e a competência cognitiva). Alguns exemplos podem ser citados como a conexão entre os sistemas mecânicos e elétricos de edifícios, eletrodomésticos, máquinas de produção, plantas de processo, sistemas de transporte, redes elétricas e outras redes de abastecimento de energia, redes de abastecimento de água e remoção de resíduos, sistemas que fornecem segurança à

vida e segurança e sistemas de gerenciamento para praticamente todas as atividades humanas imagináveis (Nam e Pardo, 2011).

Nos últimos anos, acompanhando o desenvolvimento das cidades inteligentes, um conceito tem sido aplicado em instituições de ensino superior: o *Smart Campus*. São iniciativas que visam utilizar tecnologias de informação e comunicação para tornar mais práticos e eficientes os processos conduzidos em um *campus* universitário. Podem ser encontradas em algumas das iniciativas de *Smart Campus*: aplicativos que monitoram ocorrências de segurança em tempo real, identificação de pessoas em atividades suspeitas, gerenciamento automático de aparelhos de ar condicionado em prédios, informações a respeito da localização de ônibus, monitoramento de material de consumo nos almoxarifados, etc.

Dentre as iniciativas em universidades brasileiras, pode-se destacar o projeto *Smart Campus* UnB, da Universidade de Brasília, que tem como objetivo desenvolver e implementar ferramentas que permitam uma melhor gestão do espaço, de forma integrada, ágil e eficiente, baseado em sistemas de informação geográfica (UNB, 2022). Assim como o *Smart Campus* UnB, o UFPR *CampusMap* também utiliza SIG em suas funcionalidades, como a busca e a definição de rotas entre pontos de interesse, medição de áreas e distâncias e consultas a respeito da capacidade de ocupação dos ambientes (Figura 4) (UNB, 2022; UFPR, 2022).

Na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), além de um *Smart Campus*, foi desenvolvido um atlas, baseado em ferramentas SIG. O *Smart Campus* da UNICAMP tem como objetivo utilizar o conceito de IoT, de modo a obter informações para uma inteligência de controle mais eficiente e tomada de ações mais assertivas, tornando o dia a dia no campus mais produtivo (UNICAMP, 2022a). O atlas, por sua vez, disponibiliza web mapas e aplicativos gerados a partir do georreferenciamento de diversas fontes de dados da Universidade. Todas as informações disponibilizadas são de propriedade intelectual da universidade, sendo usadas para fins de ensino, pesquisa, extensão, gestão e planejamento da Universidade (UNICAMP, 2022b).

FIGURA 4 – INTERFACE DO WEBSIG UFPR CAMPUSMAP



FONTE: UFPR *CampusMap* ([www.campusmap.ufpr.br](http://www.campusmap.ufpr.br)) (2024).

O *Smart Campus* da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN) é um projeto de pesquisa, desenvolvimento e inovação que visa desenvolver soluções de campus inteligente baseadas em TICs, especificamente com a finalidade de melhoria na segurança do campus, gestão de ativos e economia no consumo de energia (UFRN, 2022). A Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) também usa TICs em uma iniciativa de *Smart Campus*, além dos sistemas de informação geográfica, com o objetivo de integrar a IoT à gestão do campus, ao ensino e demais atividades (UFCG, 2022). Na USP de Ribeirão Preto, as ações do *Smart Campus* devem atender cerca de 20 mil pessoas entre alunos, funcionários e professores. Entre os serviços gerenciados pela Prefeitura do Campus e apoiados pelas TICs estão o transporte coletivo, a Guarda Universitária, o Restaurante Universitário, moradia, biblioteca, biotério geral, entre outras (Sales, 2021).

Fora do Brasil também são diversas as iniciativas de *Smart Campus*. No projeto *SunRise – Smart City*, da Universidade de Lille, o ArcGIS é usado para o gerenciamento e visualização de dados relativos ao ativo da rede urbana. Os dados de funcionamento das redes de água e energia são recolhidos através de sensores inteligentes. A visualização interativa de dados é integrada em software de SIG usando um aplicativo da web (Afaneh e Shahrour, 2017). A Universidade de Málaga possui o projeto *SmartUMA*, cujo principal objetivo é aplicar os conceitos de *Smart City* ao campus e tornar a Universidade de Málaga uma referência global em sustentabilidade ambiental. A iniciativa pretende demonstrar que a cidade pode tornar-se progressivamente “mais inteligente”. Dessa forma, o campus funciona como um

demonstrador para todas as cidades e, em particular, como um caso exemplar para a cidade de Málaga. Para atingir esse objetivo, três áreas-chave firmemente interligadas são abordadas - conservação e construção, sustentabilidade e aplicação de tecnologias inovadoras (Fortes et al, 2019). Na Universidade de Utah, o *U-Smart* reúne tecnologia, governança do campus, alunos e professores para permitir sistemas mais inteligentes de energia, água, transporte, saúde, resíduos e alimentos para a Universidade, ao mesmo tempo em que oferece excelência em educação e governança do *campus* (USMART, 2020). Na Universidade de Portland, a tecnologia utilizada está nos sensores de qualidade do ar e sensores de tráfego. São 200 sensores que computam dados em tempo real sobre tráfego de bicicletas, pedestres e veículos (Portland State University, 2022). Na Universidade de Birmingham, uma parceria com a empresa *Siemens* para a implantação de um *Smart Campus* desenvolverá uma vasta gama de tecnologias nas áreas de energia, IoT, tecnologias de transporte e edifícios inteligentes, levando ao desenvolvimento de um *Smart Campus* como laboratório (University Of Birmingham, 2022). O projeto SCOPE, da Universidade de Boston, é uma plataforma aberta baseada em nuvem para cidades inteligentes. Foi desenvolvido para melhorar o transporte, energia, segurança pública, gerenciamento de ativos e serviços sociais na cidade de Boston, sendo implantado no primeiramente como um *Smart Campus* (Jastive, 2014). O Quadro 1 apresenta as ferramentas utilizadas em cada iniciativa de *Smart Campus*, para a obtenção de dados. Entretanto, não há na literatura um modelo específico que indique como esses dados devem ser organizados de maneira que seu uso possa ser integrado e otimizado. Assim, o método proposto neste trabalho pode servir como base para iniciativas em outras instituições de ensino superior.

QUADRO 1 – TECNOLOGIAS UTILIZADAS EM *SMART CAMPI* - continua

UNIVERSIDADE	TECNOLOGIA UTILIZADA
UNB – <i>Smart Campus</i>	SIG
UFRN - <i>Smart Campus</i>	Sensores de movimento, temperatura e umidade e câmeras de vídeo para realizar o controle dos aparelhos de ar condicionado;
	Sistemas de medição e gerenciamento de energia

QUADRO 1 – TECNOLOGIAS UTILIZADAS EM SMART CAMPI – conclusão

Unicamp – <i>Smart Campus</i>	Dispositivo inteligente para fornecer a localização em tempo real do ônibus circular
	Dimensionamento da fila dos restaurantes da Unicamp por imagens e aprendizado de máquina
	Abertura automatizada de portas com o uso de cartões, tags RFID ou imagens QRCode
Unicamp – Atlas	SIG
UFCG – <i>Smart Campus</i>	SIG, sistemas de medição e gerenciamento de energia
PUSP- Ribeirão Preto – <i>Smart Campus</i>	Com o aplicativo Campus USP, os usuários podem fazer chamadas de emergência, registrar ocorrências, ver um mapa de segurança que exibe onde houve ocorrências recentemente e acionar alertas para a guarda do Campus
UFPR – <i>CampusMap</i>	SIG
Universidade de Lille - <i>SunRise - Smart City</i>	SIG, sensores inteligentes para água e energia
Universidade de Málaga - <i>SmartUMA</i>	Sistema inteligente de reserva de vagas de salas de estudo em bibliotecas com modelo BIM
	Desenvolvimento e integração de instrumentação de medição e sistema de comunicação e tratamento de dados de qualidade do ar
	Algoritmo de controle inteligente que integra ar condicionado, iluminação e sombra
Universidade de Utah - <i>U-Smart Campus</i>	Detectores de falhas em redes de comunicação e linhas de distribuição
	Controlador de resiliência inteligente (IRC) para restaurar a energia dos clientes após interrupções repentinas
	Simulador de sistema de energia digital em tempo real, proteção de sistema ciberfísico, controle e dispositivos de automação, rede definida por software e sistemas de detecção de anomalias
Portland State University/University of British Columbia - Digital City Testbed Center (DCTC)	Sensores de qualidade do ar e sensores de tráfego
Universidade de Birmingham – <i>Smart Campus</i>	<i>Digital Twin</i>
Universidade de Boston - SCOPE	Plataforma aberta baseada em nuvem para cidades inteligentes

FONTE: A autora (2024)

## 2.2 BUILDING INFORMATION MODELING

O conceito de modelagem da informação da construção, amplamente divulgado nos últimos anos com a sigla BIM (*Building Information Modeling*) teve seu estudo iniciado na década de 70. O trabalho “*An Outline of the Building Description System*”, publicado em 1974 por Charles Eastman e um grupo de pesquisadores, propôs um protótipo de banco de dados digital que permitiria a descrição geométrica, espacial e de propriedades de um número muito grande de elementos físicos, organizados no espaço e "conectados" como em um edifício real. O sistema idealizado permitiria que alterações fossem descritas apenas uma vez, não havendo necessidade de copiá-las ao demais desenhos, e que a análise quantitativa fosse realizada de maneira automatizada. Os projetos poderiam ser vistos de diferentes perspectivas com facilidade, o que auxiliaria a análise qualitativa e a inspeção visual, avanços importantes, considerando as ferramentas disponíveis na época (Eastman, 1974).

Ao longo dos anos a ideia de um sistema que acoplasse informações visuais e bancos de dados relativos à construção de edifícios foi sendo aprimorada. Como exemplo de trabalhos relevantes podem ser citados o de Robert Aish (1986) e Van Nederveen e Tolman (1992). Aish descreveu as bases teóricas e benefícios práticos do *Computer Aided Design* (CAD) baseado na modelagem da construção e demonstrou com exemplos práticos como o termo *Building Modeling* se tornou o conceito chave nesse contexto. Nederveen e Tolman empregaram a *Expressão Building Information Modeling* pela primeira vez, em um artigo que apresentou uma abordagem para modelagem de construções usando modelos de aspecto, um para cada ponto de vista, relacionados entre si (Aish, 1986; Nederveen e Tolman, 1992).

Hoje, além do suporte à construção por meio de modelos gerados computacionalmente com a geometria exata e dados relevantes à construção, o BIM ainda incorpora muitas das funções necessárias para modelar o ciclo de vida de uma edificação, proporcionando a base para novas capacidades da construção e modificação dos papéis e relacionamentos da equipe envolvida no empreendimento. Quando implementado de maneira apropriada, o BIM facilita um processo de projeto e construção mais integrados que resulta em construções de melhor qualidade com custo e prazo de execução reduzidos (Eastman et al., 2011). A adoção da tecnologia BIM envolve uma mudança na maneira de se pensar o projeto e os métodos de

trabalho, pois a documentação tradicional, de desenho e especificações, é substituída por uma base de dados digital única e consistente, a partir da qual é possível extrair informações atuais e precisas, detectar precocemente os conflitos e erros, reduzir os custos e o tempo de execução da obra, e conseqüentemente, aumentar a qualidade do produto final (Pereira, 2017).

Um objeto BIM é composto pelo conteúdo de informação que define o produto, pelo modelo geométrico que representa as características físicas desse produto e pelos dados comportamentais, que permitem que o objeto BIM seja posicionado no próprio produto (*NBS National BIM Library*, 2023). Um aspecto importante do desenvolvimento do BIM tem sido encontrar maneiras de definir o quão detalhado graficamente um modelo deve ser e quanta informação deve conter. No BIM, não há um equivalente específico do processo de generalização visto no SIG, ou seja, o processo de derivar uma representação menos detalhada de uma mais detalhada (Moretti et al., 2021).

Nos EUA, o termo *Level of Detail (LOD)*, ou “nível de detalhe”, utilizado a princípio para fazer referência a objetos, possuía uma conotação mais geométrica. Com o intuito de superar essa relação direta com a geometria para consolidar o conceito de quantidade e solidez da informação, foi introduzido em 2013 o conceito de *Level of Development (LOD)*, que são níveis de desenvolvimento do modelo BIM. O documento “*LOD Specification*”, publicado periodicamente pelo BIM Forum, é uma coleção organizada de interpretações das definições de LOD propostas pelo *American Institute of Architecture (AIA)*, com a adição do LOD 350 - adicionado para melhor abordar os níveis de informação necessários para a indústria (BIM Forum, 2020). A versão mais atual é a publicada em 2023.

A interpretação mais atual dos *LODs* pelo BIM Forum é (BIM Forum, 2023, p. 14, tradução nossa):

LOD 100: O elemento do modelo pode ser representado graficamente com um símbolo ou outra representação genérica, mas não satisfaz os requisitos para LOD 200. As informações relacionadas a ele podem ser derivadas de outros elementos do modelo. A interpretação do BIM Forum: os elementos com LOD 100 não são representações geométricas. Exemplos são informações anexadas a outros elementos ou símbolos do modelo que mostram a existência de um componente, mas não sua forma, tamanho ou localização precisa. Qualquer informação derivada de elementos LOD 100 deve ser considerada aproximada.

LOD 200: O elemento do modelo é representado genérica e graficamente dentro do Modelo com quantidade, tamanho, forma, localização e orientação aproximados. A interpretação do BIM Forum: Os elementos são *placeholders*

genéricos: podem ser reconhecíveis como os componentes que representam, ou podem ser volumes para reserva de espaço. Qualquer informação derivada de elementos LOD 200 deve ser considerada aproximada.

LOD 300: O elemento do modelo, conforme projetado, é representado graficamente dentro do Modelo de modo que sua quantidade, tamanho, forma, localização e orientação possam ser medidos. A interpretação do BIM

Forum: Os elementos LOD 300 são suficientemente desenvolvidos para transmitir completamente a intenção do design para o item representado.

LOD 350: O elemento do modelo, conforme projetado, é representado graficamente dentro do modelo de modo que sua quantidade, tamanho, forma, localização, orientação e interfaces como elementos do modelo adjacentes ou dependentes possam ser medidos. A interpretação BIM Forum: O LOD 350 tem como objetivo definir requisitos para elementos de modelo que sejam suficientemente desenvolvidos para suportar coordenação em nível de construção.

LOD 400: O elemento do modelo é representado graficamente dentro do Modelo com detalhes suficientes para fabricação, montagem e instalação.

Interpretação BIM Forum: Essencialmente, o LOD 400 descreve um elemento de modelo desenvolvido no nível de desenhos de oficina – na maioria dos casos, se as especificações de um projeto exigirem desenhos de oficina de um item, a equipe do projeto pode modelar o item no LOD 400. Portanto, a maioria dos modelos contém poucos elementos LOD 400

LOD 500: O elemento do modelo é uma representação gráfica de uma condição existente ou construída desenvolvida por meio de uma combinação de observação, verificação de campo ou interpolação. O nível de precisão deve ser anotado ou anexado ao elemento do modelo. A interpretação BIM Forum: LOD 500 não indica um nível mais alto que LOD 400, mas indica que a geometria do elemento é determinada por meio da observação de um item existente em vez do design de um item futuro. A definição de LOD 500 exige que a precisão do elemento do modelo seja especificada (...).

A Norma Britânica PAS 1192-2, por sua vez, estabelece o *Level of Definition*, o nível de definição, que, da mesma forma que o *Level of Development*, faz referência ao grau de detalhamento das informações de um modelo BIM. O *Level of Definition* é caracterizado por abranger tanto o detalhamento geométrico da modelagem, quanto as informações vinculadas. O detalhamento geométrico, que diz respeito à evolução das informações gráficas, foi denominado *Level of Model Detail (LOD)*. O detalhamento das informações, associado às propriedades e atributos dos elementos do modelo, foi identificado como *Level of Model Information (LOI)*. Ambos seguem alinhados, porém independentes (Azevedo e Mikami, 2022).

A introdução do *Level of Information Need (LOIN)* e a superação do *LOD* por meio da ISO 19650-1:2018 podem ajudar a encontrar uma síntese entre as diversas normas internacionais (da Silva, 2020). Nesse conceito, a atenção se volta não apenas para as características do objeto, mas também para as informações que podem auxiliar os projetistas em suas necessidades (da Silva Azevedo e Mikami, 2022, p. 7). A representação do *LOIN* aborda três dimensões: a informação

geométrica, a não-geométrica e a documental, e essas variam ao longo das diferentes fases do ciclo de vida do projeto (da Silva, 2020).

Para se adequar ao contexto brasileiro, em 2011 foi desenvolvida a primeira norma técnica BIM Brasileira, a NBR 15965. Essa norma se baseia em uma tradução não literal das quinze tabelas da *OmniClass*, um sistema de classificação e padronização voltado para indústria civil, com foco na estruturação e nomenclatura para bancos de dados eletrônicos e softwares (SPBIM, 2023). A norma adequa esse sistema à realidade do país, acrescentando ou removendo, sempre que necessário, itens não condizentes com a realidade da construção civil brasileira (Deskgraphics, 2023).

### 2.3 CITY INFORMATION MODELING

A modelagem das informações da cidade, chamada de *City Information Modeling* (CIM), foi um termo apresentado por Khemlani, editor e fundador da publicação on-line *AECbytes*, em 2005, em seu artigo "*Hurricanes and their Aftermath: How Can Technology Help?*" (Gil, 2020; De Amorim, 2015). Desde então, o termo tem sido utilizado em diversas pesquisas relacionadas às tecnologias de modelagem do ambiente urbano. Conforme a literatura, conceituar o *City Information Modeling* não tem sido uma tarefa simples. Stojanovski (2013, cap. 1, tradução nossa) traz o seguinte questionamento:

Podemos integrar as definições urbanas fragmentárias, representações e posições ideológicas conflitantes e juntar esses discursos em uma ferramenta? (...) O que devemos incluir e enfatizar? Quais são as perspectivas e limitações?". O autor coloca ainda que o CIM "também é concebido como uma expansão 3D do SIG, enriquecido com visualizações multinível e multiescala, caixa de ferramentas de design e inventário de elementos 3D com seus relacionamentos.

O trabalho de Xue et al (2021), traz a ideia de que o CIM é um modelo 3D que conecta edificações e fontes de informação urbanas, como rodovias, espaços públicos, e até mesmo os habitantes. Para os autores, o CIM deve conter informações além do SIG, como simulações de consumo de energia ou o comportamento dos habitantes, por exemplo. Essa definição se aproxima do conceito proposto por Almeida e Andrade (2018, p. 33), que após a análise de algumas definições encontradas para o CIM na literatura, o descreveram como "um modelo de conhecimento baseado em computação envolvendo processos, políticas e

tecnologias e que permite que múltiplas partes interessadas colaborem no desenvolvimento de uma cidade sustentável, participativa e competitiva.” O trabalho de Xue et al. (2021) acrescenta os elementos de simulação e dos habitantes, ou seja, enxerga a cidade como um organismo em movimento e preconiza que isso deve ser considerado no modelo de informação. Almeida e Andrade (2018) ainda incluem as partes interessadas no processo, os chamados stakeholders, que além dos habitantes poderiam ser gestores, planejadores, investidores, etc. A colaboração entre eles é proposta pelos autores por meio de ontologias.

O conceito de CIM utilizado na introdução deste trabalho foi proposto por Gil (2020) e abrange o uso das tecnologias interativas digitais por todos os interessados, de forma colaborativa por meio de ontologias, se aproximando do proposto por Almeida e Andrade (2018). Além disso, Gil (2020) ainda acrescenta os seguintes elementos: ferramentas interoperáveis de código aberto; banco de dados multiescala e multitemporal; dados abertos; representação de toda a gama de feições urbanas, sistemas e processos.

Para apresentar o estado da arte das pesquisas em *City Information Modeling*, foi conduzida uma revisão a respeito das questões que mais necessitam atenção a respeito do CIM, sendo elencados os seus potenciais e dificuldades. Para tanto, foi realizada a análise de artigos a respeito do assunto, nos quais o termo *City Information Modeling* fosse utilizado. A pesquisa foi realizada nas plataformas *Science Direct*, *Scopus*, *Research Gate* e *Scholar Google*. Foram reunidos 30 artigos e agrupados nas seguintes categorias: discussão e proposição de modelos conceituais para o CIM, CIM como ferramenta no planejamento urbano e a integração do CIM com outras tecnologias.

Para a discussão e proposição de modelos conceituais, não há um esgotamento do tema, a discussão sobre o conceito de CIM é ampla e envolve aspectos de tecnologia, de planejamento, de governança e de políticas públicas. Os artigos que abordam o modelo conceitual de CIM convergem no assunto “integração de dados”. O mapeamento semântico por meio de ontologia têm sido um tema muito presente (Xu et al., 2014; Amorim, 2015; Charlton et al., 2015; Beirão; Mendes; Celani, 2015; Almeida e Andrade, 2018; Eicker et al., 2020; Pan et al., 2020; Pereira et al., 2021; Emara, 2022).

Com relação à participação no planejamento urbano, os trabalhos destacam que os dados por si só não garantem um futuro urbano sustentável, e que as

pesquisas futuras devem ser focadas em sua interpretação e uso. A familiarização dos atores envolvidos com o contexto urbanístico, a interação entre poder público e população e a publicidade de informações são algumas das vantagens da utilização do CIM. Há, no entanto, algumas limitações, principalmente com relação ao poder público, em termos de pensamento, orçamento e estrutura governamental (Thompson et al., 2016; Muldoon-Smith e Greenhalgh, 2016; Lima; Freitas; Cardoso, 2019; Kitchin; Young; Dawlinks, 2021; Pereira e Procopiuck, 2022).

O uso de tecnologias combinadas para o fortalecimento do CIM envolve ferramentas para a construção de modelos tridimensionais e simulações, em áreas como a dinâmica de fluidos computacional e prevenção de desastres, por exemplo. A utilização do próprio CIM enquanto ferramenta tem sido objeto de estudos em modelos urbanos de edificações para energia, patrimônio histórico, cálculo do índice de visualização de janelas, investigação de variáveis 3D no valor de imóveis (Cheshmehzang, 2016; Kang, 2017; Argenziano; Avella; Albanese, 2018; Xue et al., 2019; Ponnappali et al., 2019; Lu et al., 2020; Chadzynski et al., 2021; Cai et al., 2021; El Yamani et al, 2021, Chen; Chen; Huang, 2021; Chadzynski et al., 2022; Haghighi Fard e Doratli, 2022; Fernández-Alvarado et al., 2022).

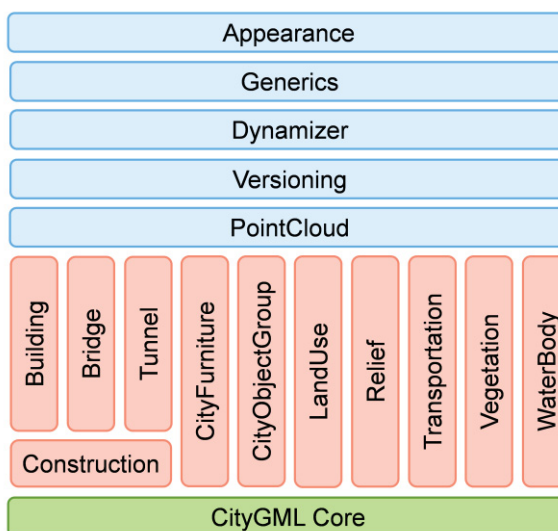
Apesar da diversidade de formatos de dados disponíveis atualmente, o padrão internacional usado para criação e armazenamento de dos modelos 3D de cidades é o *CityGML*, sendo esse o formato utilizado nessa pesquisa. Com relação aos dados BIM, o IFC, que compreende uma estrutura de armazenamento de dados da construção, com código aberto, será o formato utilizado.

### 2.3.1 *CityGML*

O *CityGML* é um padrão baseado em *Geography Markup Language* (GML), criado para uma definição comum das entidades, atributos e relações básicas de um modelo 3D de cidade, o que favorece uma manutenção sustentável e econômica da modelagem, permitindo a reutilização dos mesmos dados em diferentes campos de aplicação (Kolbe et al., 2021). A versão 3.0, publicada em 2021, possui a estrutura mais recente adotada pelo formato. Essa nova versão permite que os dados sejam codificados em *Geography Markup Language* ou *Extensible Markup Language* (XML), como as versões anteriores, mas também em *Java Script Object Notation* (JSON) ou modelos de banco de dados (Kutzner; Chaturvedi; Kolbe, 2020).

A estrutura do *CityGML* 3.0 (Figura 5) consiste em um módulo central e vários módulos de extensão. Enquanto o módulo central compreende os conceitos e componentes básicos de uma cidade virtual, cada módulo de extensão abrange um campo temático específico como edifícios, pontes, túneis, modelo digital de terreno, corpos d'água, vegetação, transporte, objetos de mobiliário urbano, etc. necessário para suportar todo o modelo de dados, mas pode empregar apenas um subconjunto de módulos de acordo com suas necessidades específicas (Kolbe e Donaubauer, 2021). As caixas verticais mostram os diferentes módulos temáticos e as horizontais especificam conceitos aplicáveis a todos os módulos temáticos.

FIGURA 5 - ESTRUTURA DO *CITYGML* 3.0



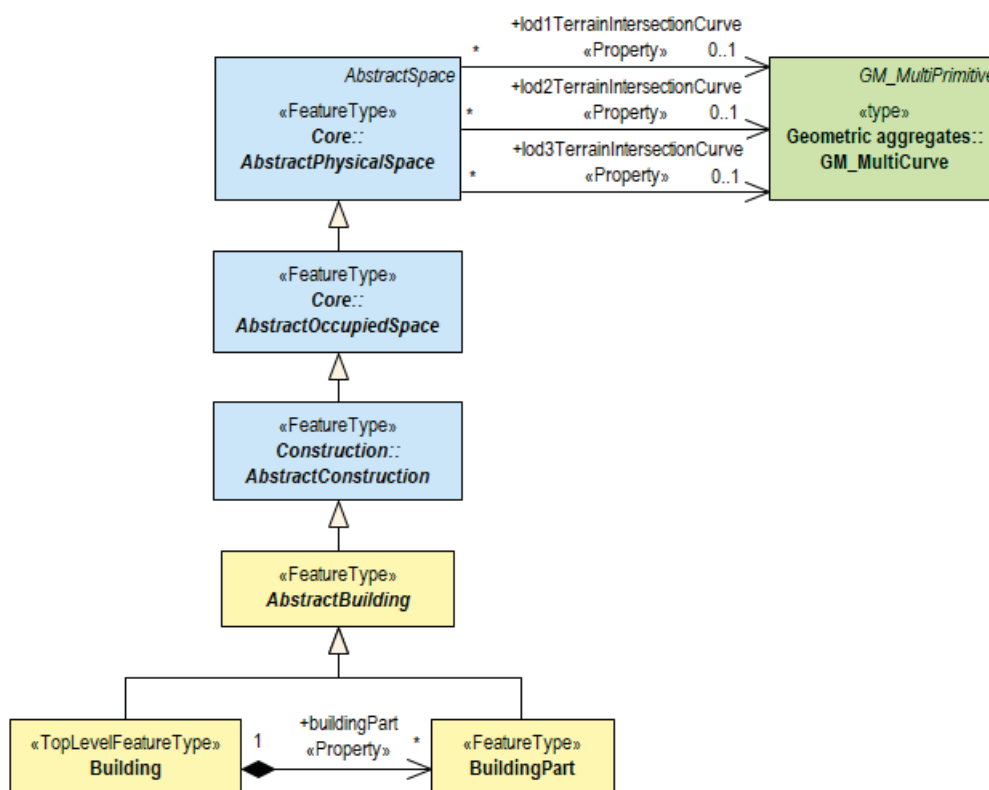
FONTE: Kolbe et al. (2021).

O modelo conceitual do *CityGML* é documentado com notação UML, por meio de diagramas de estruturas estáticas (Kolbe et al, 2021). A *Unified Modeling Language* (UML) é uma linguagem padrão definida para especificar, visualizar e documentar modelos em sistemas de software, definida pelo *Object Management Group* (OMG) e pela ISO/IEC 19505:2005. Em UML, uma classe é um elemento do diagrama que representa um objeto ou um conjunto de objetos que compartilham uma estrutura e um comportamento comuns. Em uma classe, são identificados os atributos, operações, relacionamentos e semântica que as instâncias, ou objetos, dessa classe possuem. Cada objeto que instancia uma classe possui seus próprios valores de atributos (IBM, 2024). Os diagramas do *CityGML* seguem as regras da UML, com todas as associações entre elementos sendo unidirecionais, com a direção

representada por uma ponta de seta. O diagrama da Figura 6 apresenta notação UML. As classes amarelas são associadas ao módulo *CityGML Building*, as classes azuis são dos módulos *CityGML Core* e *Construction*, e a classe verde descreve um elemento de geometria definido pela ISO 19107:2003 (Kolbe et al, 2021).

O *Core* é o módulo que define os conceitos básicos e os componentes dos modelos de cidades. Seu diagrama de classes é dividido em três partes: *City Models and City Objects*, *Space Concept* e *Geometry and LOD*.

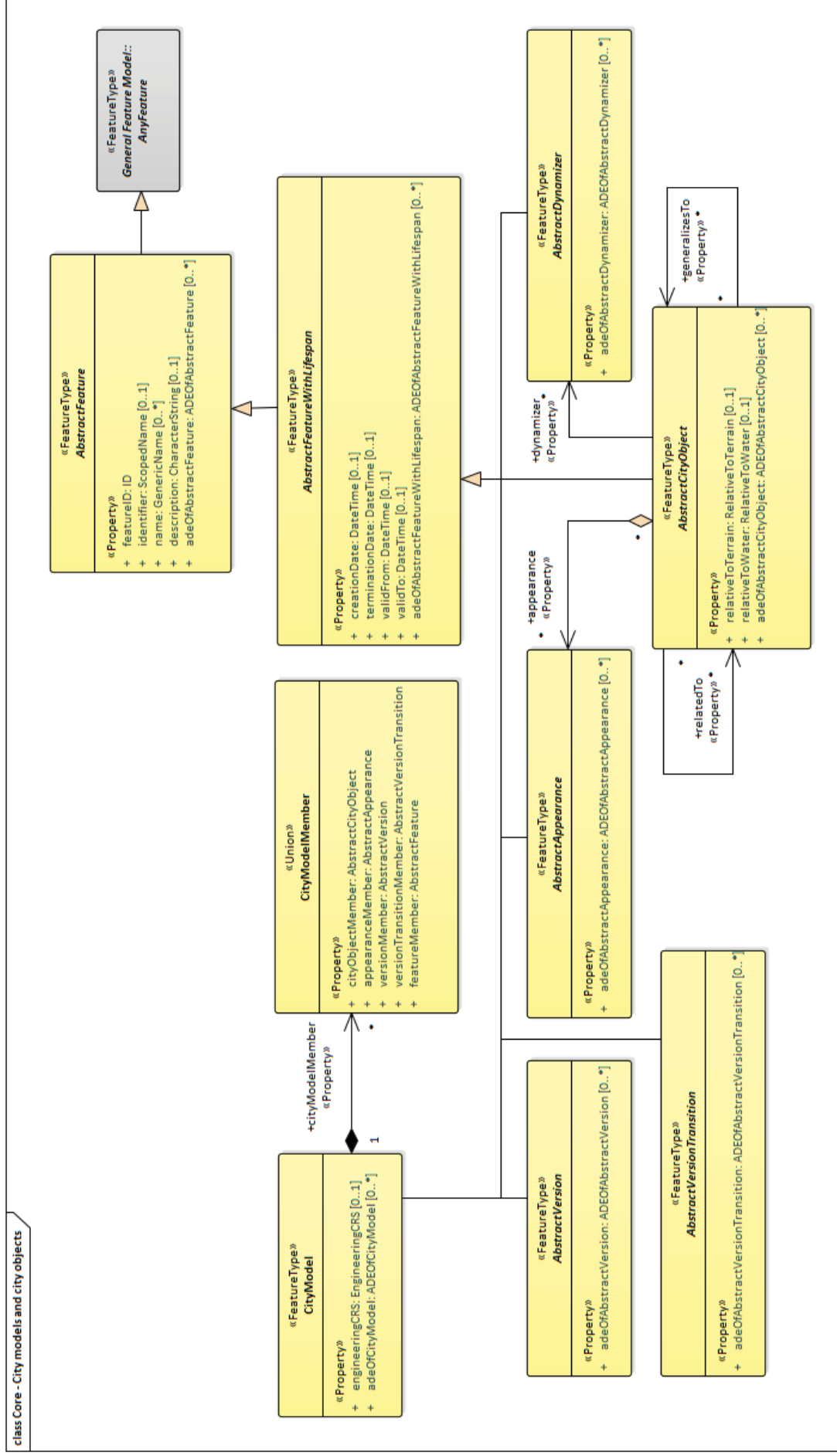
FIGURA 6 - EXEMPLO DE DIAGRAMA UML



FONTE: Kolbe et al. (2021, cap. 5.2).

*City Models and City Objects* é o conjunto de classes do *Core* que define a estrutura básica do *CityGML* (Figura 7). Isso inclui classes base abstratas que definem as propriedades principais de classes temáticas de outros módulos, bem como classes concretas desses módulos. A classe *AbstractCityObject*, por exemplo, é a superclasse abstrata de todas as classes temáticas de objetos que compõem o ambiente urbano. O tipo de aparência dos objetos, por sua vez, é representado pela superclasse abstrata *AbstractAppearance* (Kolbe et al., 2021).

FIGURA 7– MÓDULO CORE – CITY MODELS AND CITY OBJECTS



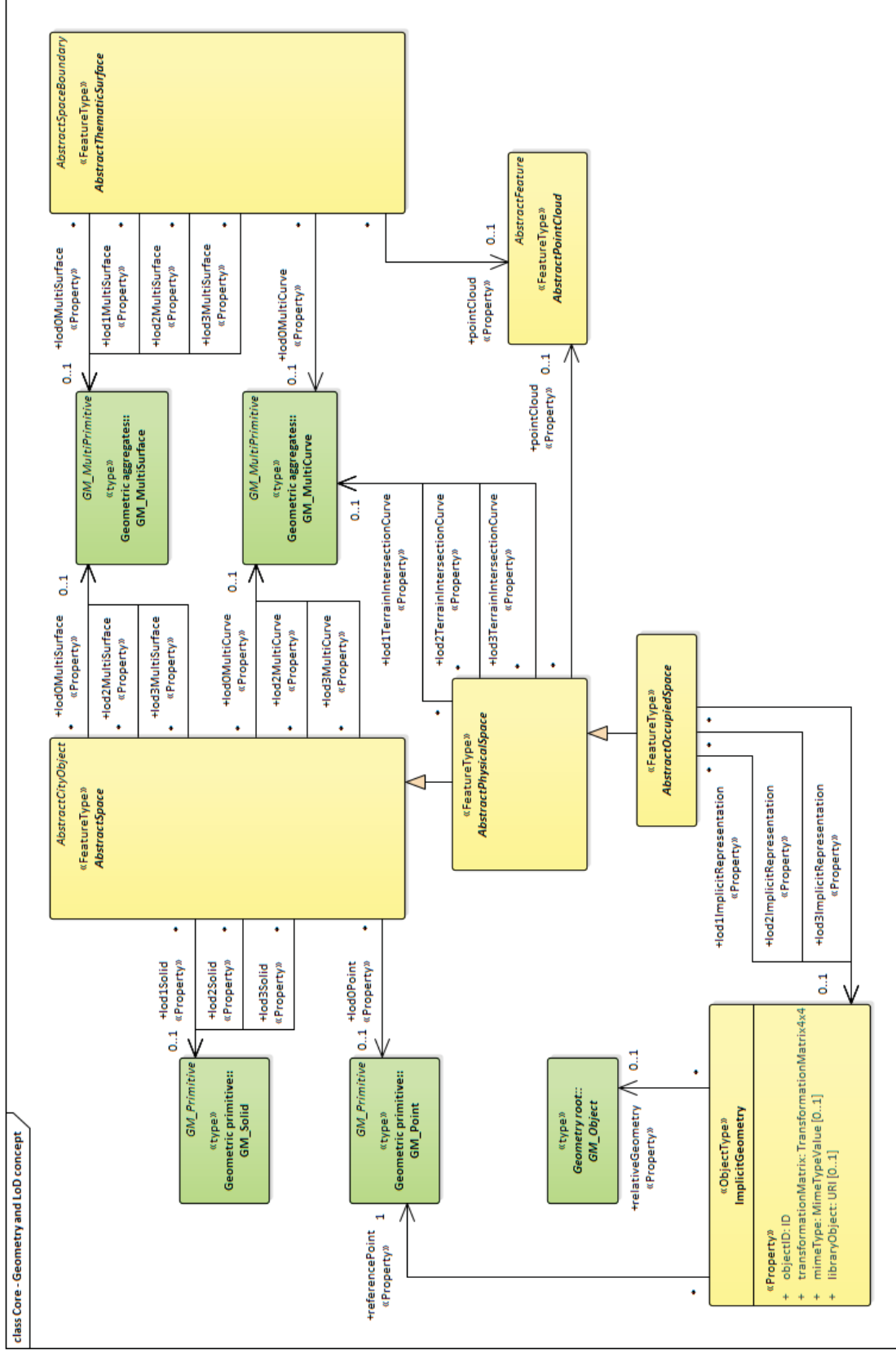
FONTE: Kolbe et al. (2021, cap. 7.2.3).

Os conceitos de espaço no *Core* são definidos pelo *Space Concept* (Figura 8). Os objetos da cidade podem ser definidos como entidades derivadas das classes *Space* e *SpaceBoundary*. A classe *Space* incorpora objetos com extensão volumétrica no mundo real, como prédios, corpos d'água, árvores, salas e espaços de circulação. Já a classe *SpaceBoundary* abrange extensões de área no mundo real, que delimita e conecta os *Spaces*. Exemplos de *SpaceBoundaries* são as superfícies das paredes e do telhado que delimitam um edifício, a superfície da água como limite entre o corpo d'água e o ar, a superfície da estrada como limite entre o solo e o espaço de tráfego ou o modelo digital do terreno representando o limite entre o que está acima da superfície e que é subterrâneo (Kolbe et al., 2021).

A seção *Geometry and LOD* do modelo conceitual do *Core* define a geometria e o LOD (Figura 9). As classes em verde representam classes de geometria, referentes à ISO 19107:2003. Na prática, o LOD é usado principalmente para indicar os detalhes geométricos de um modelo. Até a versão 2.0, adotada como padrão pelo OGC em 2012, a escala do LOD variava de 0 a 4, e seu conceito não se restringia aos aspectos geométricos, mas abrangia também os semânticos: com o aumento do LOD, a riqueza semântica aumentava (Gröger e Plümer, 2012). Na versão 3.0, os LOD's não mais se associam ao grau de decomposição semântica dos objetos da cidade e referem-se apenas às representações espaciais. Nos LOD's 0 e 1, também é possível identificar superfícies temáticas, como *WallSurface* e *GroundSurface*, que antes eram permitidas somente a partir do LOD2. É igualmente possível representar janelas e portas, que só eram permitidas a partir do LOD3. As representações geométricas foram movidas dos módulos temáticos para o *Core* e agora estão associadas aos *Spaces* e *SpaceBoundaries*, o que levou a uma significativa simplificação dos módulos temáticos. Como todos os tipos de feição nos módulos temáticos são definidos como subclasses das classes *Space* e *SpaceBoundary*, eles herdam automaticamente as classes de geometria e, portanto, não precisam mais das associações diretas, que causavam redundância na versão 2.0 (Kolbe et al., 2021). A versão 3.0 é flexível para representar um modelo interno detalhado com uma forma de construção externa grosseira. Os níveis de detalhe são definidos de LOD0 a LOD3, com os objetos se tornando mais detalhados com o aumento do LOD, em analogia à versão 2.0 (Figura 10).

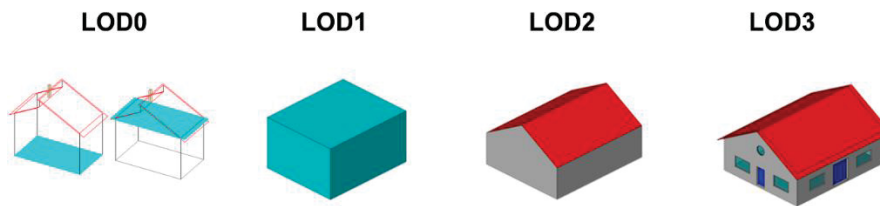


FIGURA 9 – MÓDULO CORE – GEOMETRY AND LOD



FONTE: Kolbe et al. (2021).

FIGURA 10 - REPRESENTAÇÃO DO MESMO EDIFÍCIO DO MUNDO REAL NOS NÍVEIS DE DETALHE 0-3

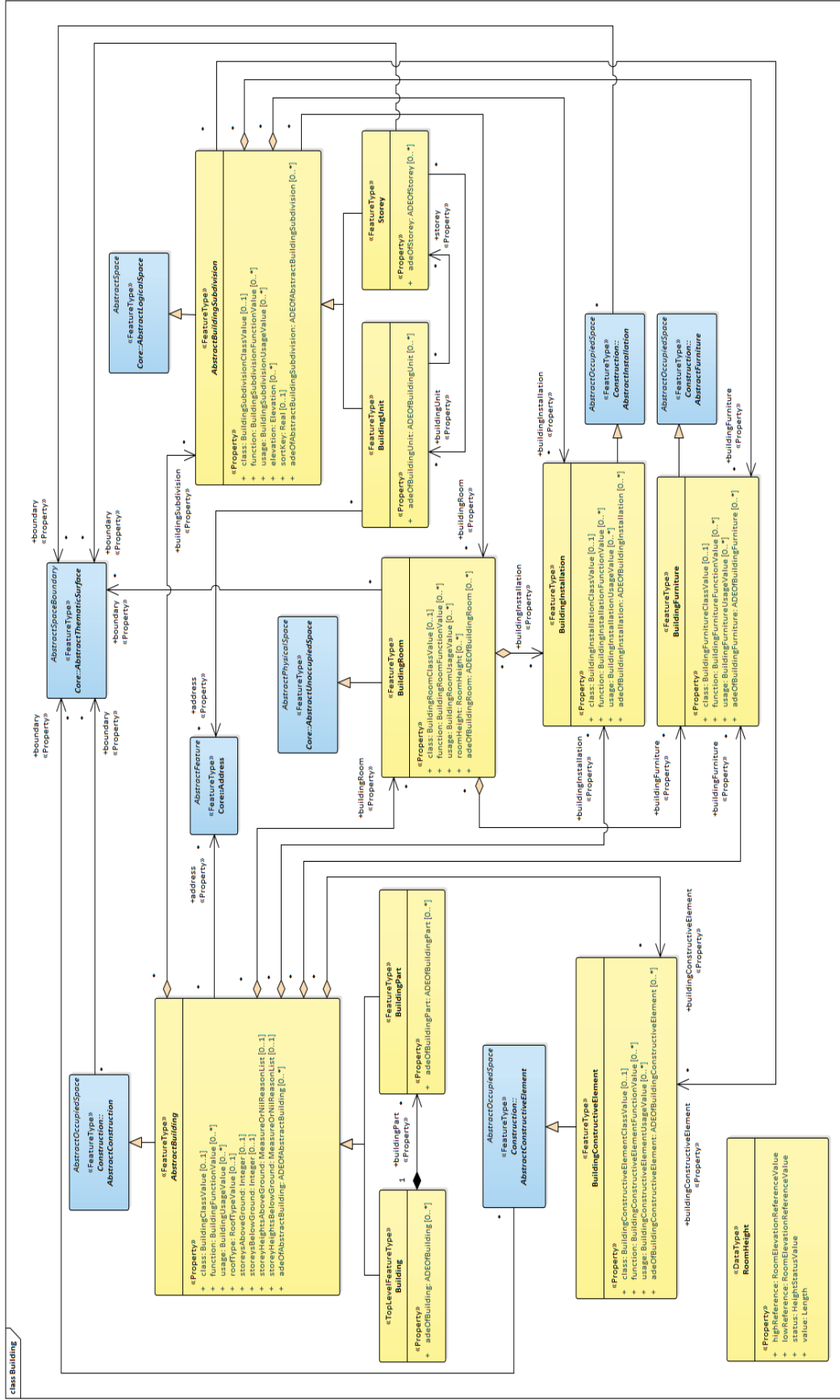


FONTE: Kolbe et al. (2021)

As classes relacionadas ao tipo de geometria do objeto foram apropriadas da ISO 19107:2003, que normatiza os modelos espaciais para informação geográfica. As geometrias possíveis, pelas classes da ISO, são multicurvas, multipontos, multisuperfícies, pontos, sólidos e superfícies. Pela ISO é possível também representar as coordenadas e sistemas de referência.

Além do *Core*, foram utilizados neste trabalho os módulos *Building*, que representa as edificações, *Construction*, que representa um tipo mais amplo de construções e *Transportation*, referente aos sistemas de transporte. No modelo conceitual, o módulo *Building* está contido no módulo *Construction*, que por sua vez está contido no módulo *Core*. O módulo *Transportation* também está contido no *Core*. O módulo *Building*, cujo diagrama pode ser verificado na Figura 11, além de suas classes próprias, herda as classes dos módulos *Construction* e *Core* (classes em azul). A classe *AbstractBuilding* está conectada à classe *AbstractConstruction*, do módulo *Construction*. O relacionamento entre elas se dá por herança, ou seja, além dos atributos próprios da classe *AbstractBuilding*, essa possui também os da classe *AbstractConstruction*. Esse módulo representa aspectos temáticos e espaciais de edifícios, definidos pela documentação do *CityGML* como construções autônomas e autossustentáveis cobertas e geralmente muradas e permanentes em um lugar. Os edifícios podem ser decompostos em elementos estruturais e podem conter instalações e móveis (Kolbe et al, 2021).

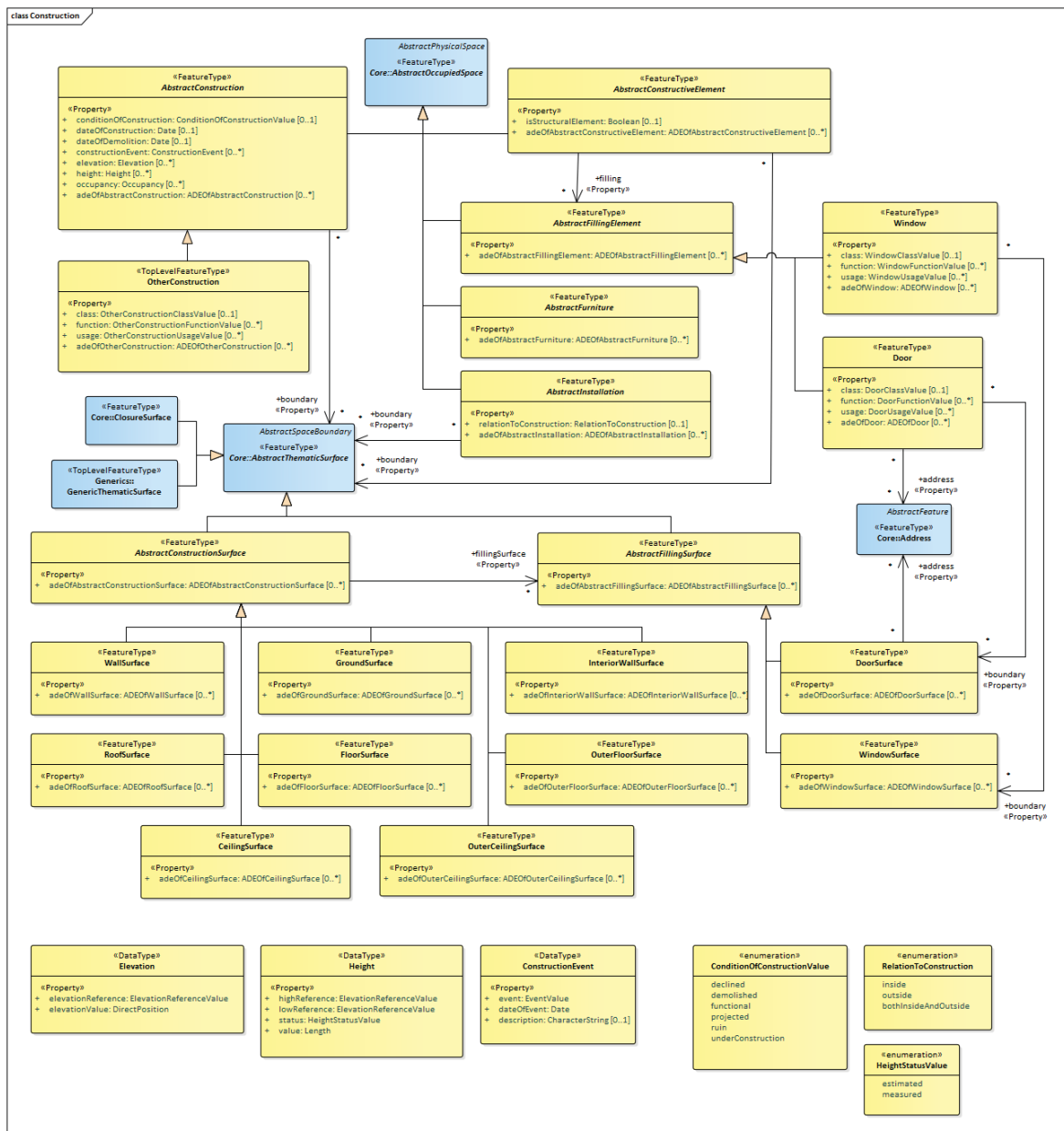
FIGURA 11 – MÓDULO BUILDING



FONTE: Kolbe et al. (2021).

A Figura 12 apresenta o módulo *Construction*, cuja classe *AbstractConstruction* está relacionada por herança à classe *AbstractOccupiedSpace*, que pertence à estrutura espacial do módulo *Core* (classes em azul). A herança de atributos ocorre de maneira análoga ao que foi descrito no parágrafo anterior. O módulo *Construction* define conceitos comuns a todas as formas de construção. A documentação do *CityGML* conceitua construções como objetos que são fabricados por humanos a partir de materiais de construção, conectados à terra e destinados a serem permanentes. Exemplos desses objetos são edifícios, túneis e pontes.

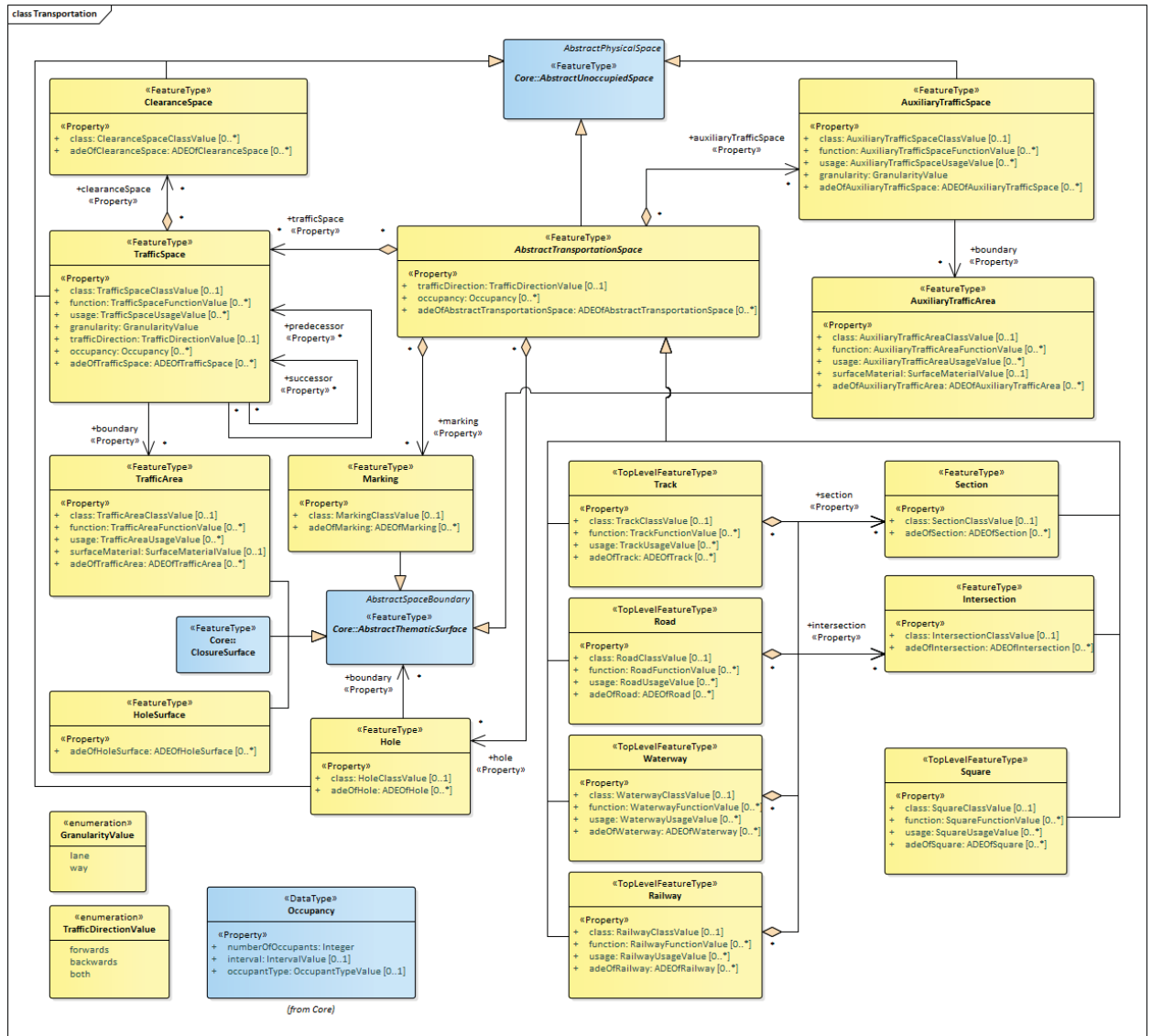
FIGURA 12– MÓDULO CONSTRUCTION



FONTE: Kolbe et al. (2021).

A Figura 13 representa o diagrama de classes do módulo *Transportation*. Esse módulo define elementos centrais da infraestrutura de tráfego, como estradas, ferrovias e hidrovias.

FIGURA 13 – MÓDULO TRANSPORTATION



FONTE: Kolbe et al. (2021).

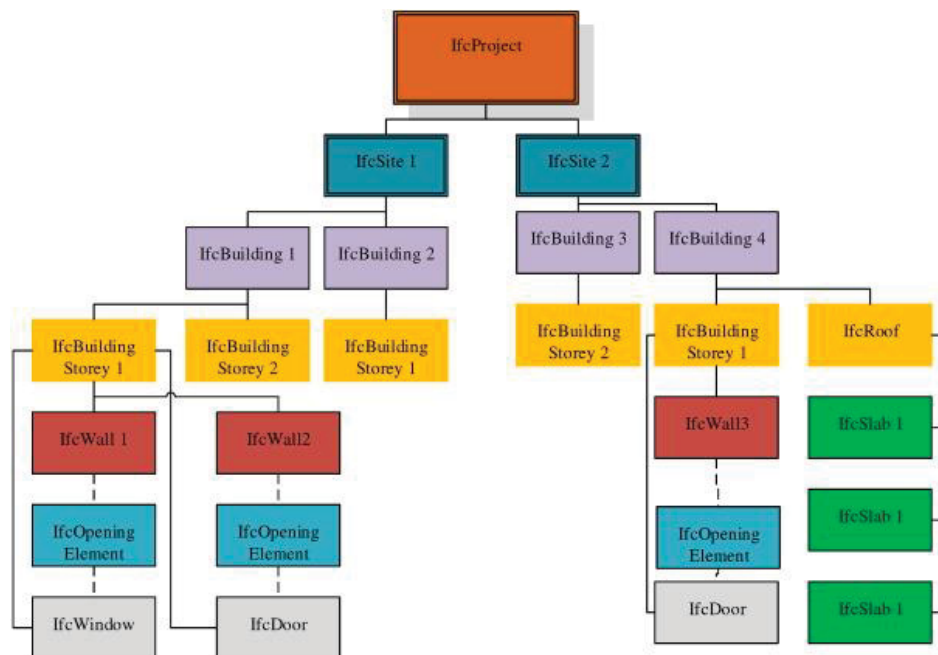
### 2.3.2 IFC (Industry Foundation Class)

O IFC é um padrão internacional aberto para dados de modelos BIM, que permite o compartilhamento entre aplicativos de software voltados à indústria de construção e gerenciamento de instalações. Foi criado pela BuildingSMART (anteriormente *International Alliance for Interoperability*) em 1994, e certificado pela

ISO em 2013 (Deng et al., 2016; Buildingsmart, 2024). As principais versões lançadas foram o IFC1.5.1, IFC2.0, IFC2x, IFC2x2, IFC2x3 e IFC4. Desde o lançamento do IFC2x, em 2000, o núcleo da especificação permanece inalterado, tendo apenas funcionalidades acrescentadas (Pinho, 2013).

Segundo a ISO 16739-1:2018, o IFC especifica um modelo de dados e uma estrutura de formato de arquivo de troca. O modelo de dados é composto pela linguagem de especificação de dados *Express* e pela linguagem de definição de modelo XML (International Organization for Standardization, 2018). Pelo IFC são representados os objetos de construção, físicos e lógicos, suas características e suas interrelações na forma de uma hierarquia de classes, que abrange as informações principais do projeto (Fu et al., 2006). Refletindo o escopo do BIM, o IFC não apenas permite modelar edifícios e seus componentes, mas também os processos, atores e objetos não físicos, como diretrizes e regulamentos de construção (Kolbe e Donaubauer, 2021). A Figura 14 traz um exemplo da hierarquia do IFC.

FIGURA 14 - TRECHO DO MODELO CONCEITUAL DO IFC

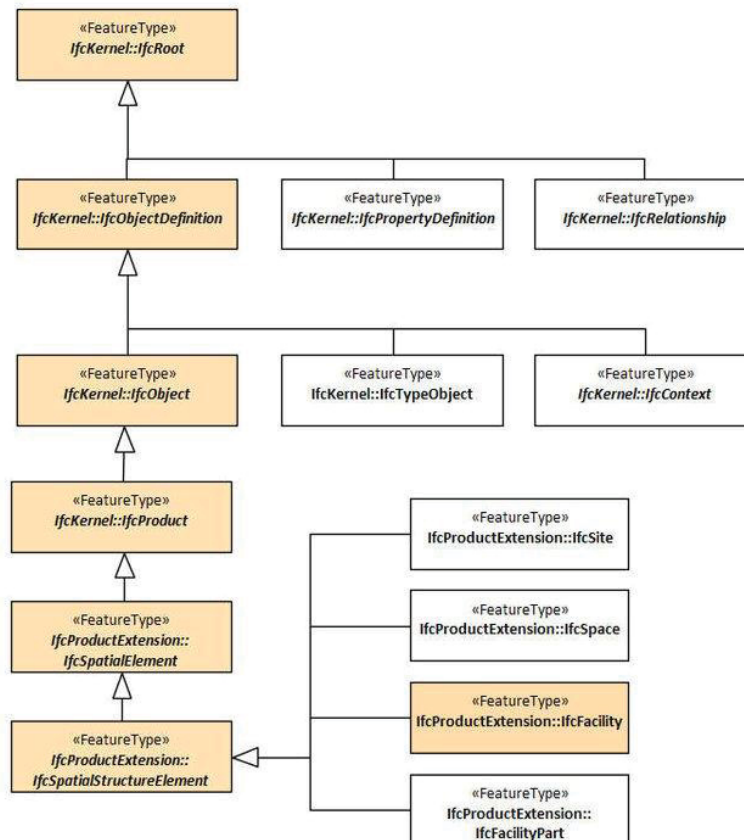


FONTE: Deng et al. (2016).

Assim como no *CityGML*, a UML foi escolhida pelos desenvolvedores do IFC como a linguagem mais adequada para a representação das extensões de padrão de domínio atuais e futuras. Os diagramas de classe descrevem a estrutura estática e o

conteúdo de uma solução IFC usando elementos como classes, interfaces e pacotes para exibir relacionamentos como contenção, herança e associações (Buildingsmart, 2020). A Figura 15 apresenta uma parte do diagrama de classes, da classe *IfcRoot* à classe *IfcFacility*.

FIGURA 15 – DIAGRAMA DE CLASSES IFC



FONTE: Jetlund; Onstein; Huang (2020).

Para facilitar a leitura e a compreensão do modelo conceitual, o IFC subdivide cada domínio em pontos de vista espacial, estrutural (físico) e funcional. O espacial compreende como os objetos ocupam o espaço; o estrutural, como os objetos são compostos e o funcional tem seu foco nos vínculos entre os objetos. Uma entidade IFC deve ser modelada como uma classe UML e seu nome deve ser o nome em inglês do objeto, como, por exemplo, *IfcDoor*. Um conjunto ilimitado de atributos pode ser atribuído a uma entidade. Esses atributos podem representar relacionamentos entre entidades ou valores categorizados por tipos de dados (Buildingsmart, 2020). O IFC é um padrão baseado em componentes, no qual as informações sobre um único

componente de construção podem ser extraídas separadamente. Por exemplo, a classe *IfcWallStandardCase*, representa uma parede em um modelo IFC. As informações relacionadas sobre essa parede, como sua localização (classe *IfcLocalPlacement*), forma (classe *IfcProductDefinitionShape*) e outras informações semânticas, podem ser analisadas, extraídas e processadas, como na Figura 16 (Deng et al., 2016).

FIGURA 16 - INFORMAÇÕES REFERENTES AO *IfcWallStandardCase*

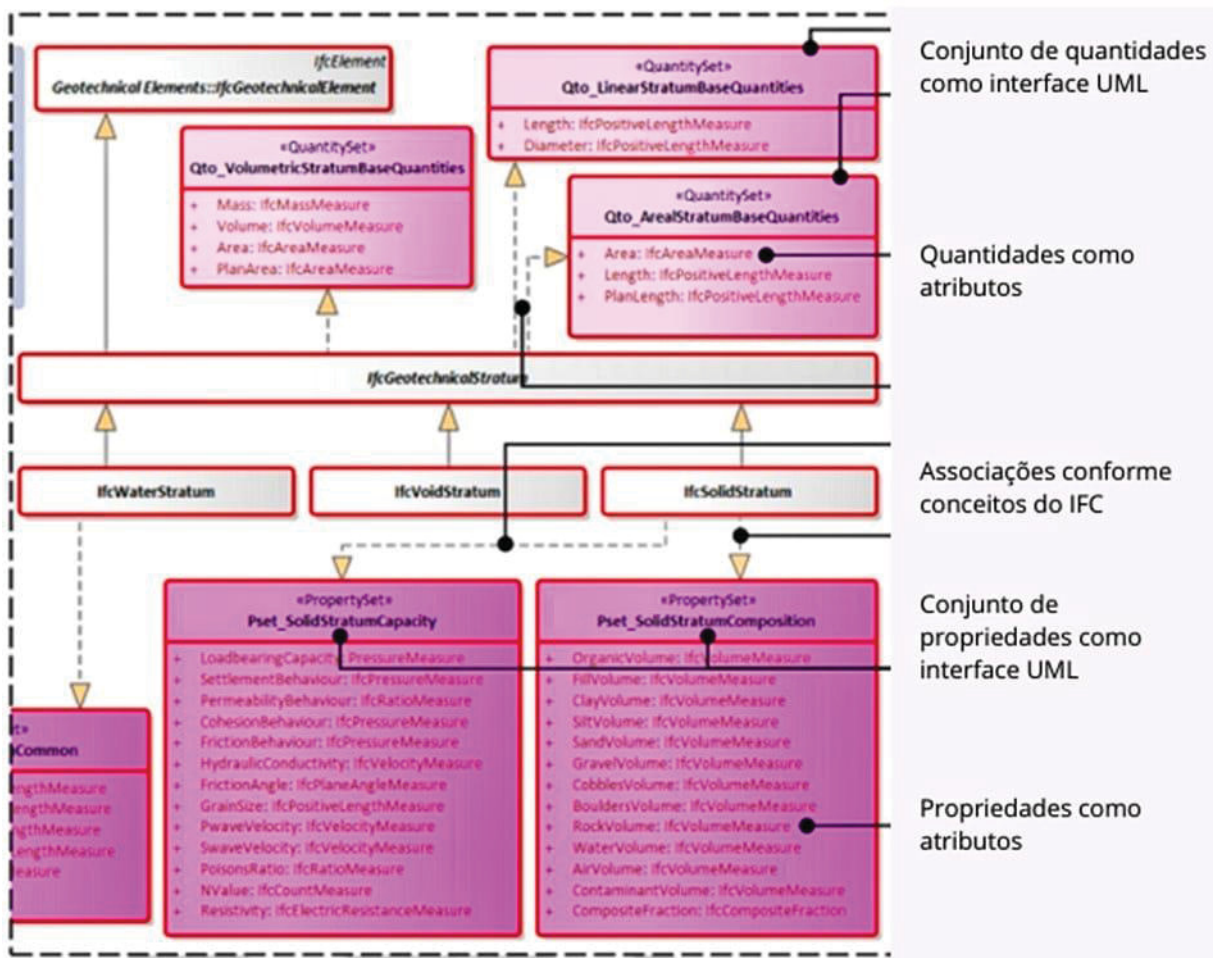


FONTE: Deng et al. (2016).

O IFC possui o conceito de conjuntos de propriedades (*Pset*) e conjuntos de quantidades (*Qto*) (Figura 17). Ambos são interfaces relacionadas às entidades IFC que reúnem propriedades referentes a elas. Os conjuntos de propriedades possuem o estereótipo <<*PropertySet*>> e sua nomenclatura possui o nome em inglês da entidade. Um exemplo é o conjunto *Pset\_DoorCommon*, que reúne as propriedades comuns a todas as entidades *IfcDoor*. Os conjuntos de quantidades, por sua vez, que agregam tipos específicos de propriedades, que são características de quantidade (comprimento, área, volume). Possuem o estereótipo <<*QuantitySet*>> e sua nomenclatura, analogamente ao *Pset*, possui o nome da entidade. O conjunto *Qto\_BuildingBaseQuantities*, por exemplo, armazena a altura da edificação, a altura dos beirais, a área em projeção, áreas líquida e bruta do piso, entre outras

propriedades. Além dos conjuntos de propriedades e de quantidades, existem os tipos de enumeração, que são usados para representar uma lista finita de valores predefinidos de uma propriedade. Um tipo de enumeração possui o estereótipo <<PEnumType>>. Por exemplo, *IfcAlarmTypeEnum* define o intervalo de diferentes tipos de alarme que podem ser especificados (BuildingSMART, 2020).

FIGURA 17 - CONJUNTOS DE PROPRIEDADES (PSET) E CONJUNTOS DE QUANTIDADES (QTO)



FONTE: BuildingSMART (2020)

### 2.3.3 Interoperabilidade entre modelos 3D e BIM

Uma das vantagens da interoperabilidade entre padrões como o IFC e o *CityGML* é a integração de dados de diferentes escalas, que permite adicionar informações mais detalhadas em conjuntos de dados com informações menos minuciosas, como os modelos 3D de cidades. A incorporação dos domínios BIM e SIG

não envolve apenas considerar os diferentes formatos de dados, mas também traduzir uma visão arquitetônica do modelo para a geoespacial (Biljecki et al, 2021).

A interoperabilidade entre os dados de modelos 3D de cidades e dados BIM *CityGML* tem sido abordada em estudos em três diferentes aspectos: dados, processos ou aplicação. O nível de dados envolve a introdução de novos padrões, a revisão de padrões antigos ou a conversão do formato dos dados. A introdução de um novo padrão, apesar de benéfica no sentido de se contornar as barreiras entre os domínios, resulta em uma inevitável perda de informações (Amirebrahimi et Al., 2015). O padrão IFC hoje abrange uma grande variedade de modelos de construção 3D. Seu mapeamento para *CityGML* é um processo complexo, especialmente se a automação for necessária. Nessa tendência, foram apresentados nos últimos anos alguns padrões que buscam a integração entre dados BIM e SIG, como o *InfraGML*, focado na infraestrutura e o *IndoorGML*, criado para navegação *indoor*. No entanto, foi constatado por Liu et al. (2017) que os projetos que mantiveram seu foco em padrões existentes tiveram mais chances de sucesso em termos de perda de informações, flexibilidade e custo de mão de obra. Dessa forma, a maioria das pesquisas têm se concentrado na conversão, tradução e extensões do *CityGML* e IFC. Esses ainda não são suficientes para suportar as informações de estrutura de todo o ciclo de vida do ambiente construído para projetos urbanos e de infraestrutura. Os métodos existentes são divididos em manuais ou semiautomáticos; nenhum deles pôde automatizar totalmente o processo de conversão.

A integração no nível do processo, por sua vez, não altera o formato e a estrutura dos dados de nenhum dos domínios. O BIM normalmente possui muito mais informações do que o SIG, então para que seja desenvolvida a integração, podem ser usadas tecnologias de web semântica, como ontologias, por exemplo. A web semântica tem uma capacidade natural de integrar informações de diferentes fontes, fornecendo semântica acessível por máquina para anotações usando modelos-ontologias conceituais ricos. Os métodos de integração baseados em tecnologias da web semântica permitem a conversão bidirecional entre o IFC e o *CityGML* e são também mais flexíveis em termos de aplicações. No entanto, o processo é manual e demorado (Liu et al, 2017).

A integração no nível da aplicação é normalmente empregada para atender a um caso de uso específico. Os dados de origem e os dados de objeto não são alterados e nenhum serviço ou ontologia é desenvolvido. Os problemas são resolvidos

de um ângulo particular, normalmente não podem ser aplicados para outras situações, mas não consomem grandes quantidades de tempo e mão de obra. Nesse tipo de integração, as informações são extraídas dos domínios BIM e SIG e manipuladas em um local externo, como banco de dados, por exemplo (Liu et al, 2017). Este trabalho pode ser classificado como pertencente ao nível de aplicação, pois não visa uma conversão de formatos. Foi utilizada como recurso uma extensão do domínio do aplicativo, que apresenta uma organização de dados específica para uma atividade. No entanto, a sua construção pode servir como base para a elaboração de demais aplicações que utilizem dados espaciais e de edificações, como elaboração de outros tipos de projeto, execução de obra, planejamento de serviços terceirizados como manutenção, limpeza e segurança, etc.

#### 2.3.4 Extensão do Domínio do Aplicativo (ADE)

O *CityGML*, visando a simplicidade, pode ser considerado limitado e não se adequar a um grande número de casos e situações de uso. Por essa razão, é frequentemente estendido por meio de Extensões do Domínio do Aplicativo (ADE) (Biljecki et al., 2021). Trata-se de um mecanismo usado para incorporar dados específicos de uma aplicação ao modelo conceitual, de forma sistemática e bem estruturada, preservando os conceitos centrais atributos (Kolbe et al., 2021).

As ADEs podem ser construídas apresentando novas classes ou recursos, adicionando novos atributos às classes ou recursos existentes ou estendendo listas de códigos de atributos. A modelagem das ADEs permite alterações, como criar classes para painéis solares com geometria e atributos próprios, incluir o número de unidades em um edifício (atributo que não existe no modelo padrão) e adicionar novos tipos de construção que não se enquadram na lista de códigos do *CityGML*, para criar padrões nacionais (Biljecki et al., 2021).

Tal qual o modelo conceitual do *CityGML*, uma ADE deve ser definida em linguagem UML, de acordo com o especificado pela ISO 19109:2015, que orienta as regras para esquemas de aplicativos. Também devem ser seguidas as regras da ISO 19103:2015, que normatiza o uso de UML para informações geográficas (Kolbe et al., 2021). Em uma mesma ADE, mais de um módulo do *CityGML* pode ser estendido e, para evitar conflitos com os módulos existentes, a extensão deve configurar um *package* (agrupamento de elementos) e possuir um nome próprio (Biljecki et al.,

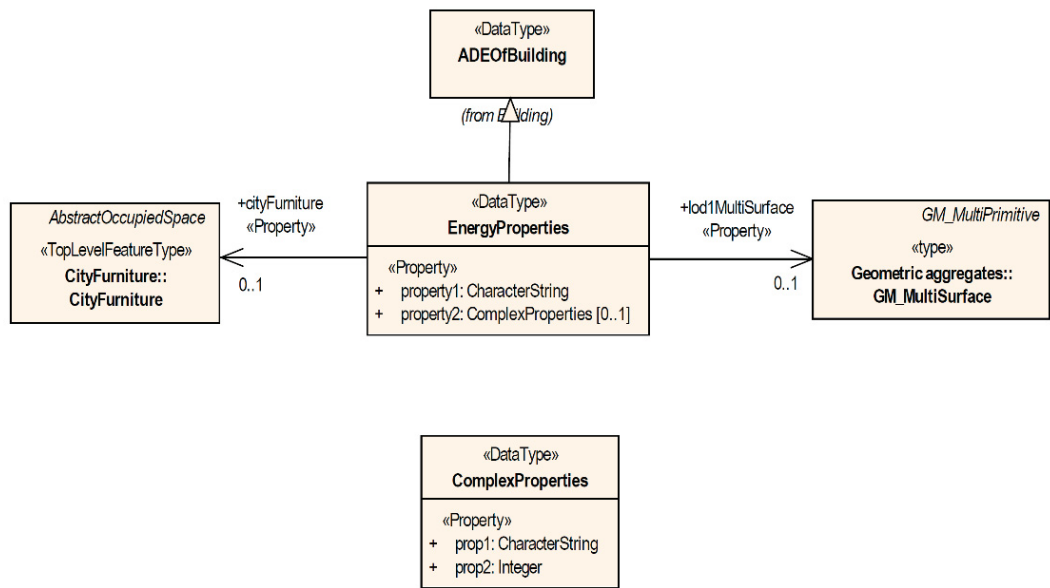
2018). Os recursos devem ser derivados de recursos raiz presentes no *Core* do *CityGML*. Por exemplo, os recursos que representam espaços ou limites de espaço devem ser derivados direta ou indiretamente de *Core::AbstractSpace* ou *Core::AbstractSpaceBoundary*, respectivamente. As classes de uma ADE podem ter um número ilimitado de atributos e associações, além daqueles herdados das classes existentes no *CityGML*. Para garantir a interoperabilidade semântica, os tipos de atributos predefinidos do *CityGML* ou os modelos padronizados da série ISO 19100 de Normas Internacionais devem ser usados sempre que for apropriado. Se um tipo predefinido não estiver disponível, as ADEs podem definir seus próprios tipos de dados ou importar tipos de dados de modelos conceituais externos (Kolbe et al., 2021).

Até a versão 2.0. do *CityGML*, se uma classe de um elemento não tivesse uma ou mais propriedades necessárias para um aplicativo específico, uma solução viável era derivar uma subclasse desse elemento e adicionar a ela as propriedades faltantes. Embora conceitualmente limpa, essa abordagem poderia levar à criação de muitas subclasses e as informações sobre o mesmo elemento do mundo real poderiam ser distribuídas, dificultando o consumo dos dados do recurso pelo software. A versão 3.0 fornece a opção de aumentar os tipos de recursos predefinidos com propriedades adicionais do domínio ADE sem a necessidade de subclassificação dos elementos, criando-se classes associadas por meio de “ganchos” presentes nas classes existentes. Os ganchos são atributo com o nome *adeOfFeatureTypeName* e tipo *ADEOfFeatureTypeName*, podendo ocorrer de zero a um número ilimitado de vezes (Kolbe et al., 2021). A Figura 18 apresenta um exemplo de classes associadas da ADE, onde a classe *Building* é ampliada com propriedades adicionais ao definir o tipo de dados *EnergyProperties* como uma subclasse do tipo de dados *ADEOfBuilding*.

Dentre as ADEs mais conhecidas, pode-se citar a GeoBIM (De Laat e van Berlo, 2011), a IMGeo (Van der Brink et al., 2012), e a IfcADE (Biljecki et al., 2021). A ADE GeoBIM, apresentada por De Laat e van Berlo (2011) permitia a preservação da semântica do IFC no *CityGML*. Sem um caso de uso específico em foco, a ADE podia ser usada para calcular rotas para primeiros socorros, segurança de eventos (mapeando a visão de atiradores em janelas), evacuação de campi, certificação LEED de edificações, etc. O GeoBIM foi desenvolvido em vários níveis. Primeiro, foram adicionadas propriedades do IFC a objetos existentes no *CityGML*. Depois, foi adicionada à classe *AbstractBuilding* uma propriedade extra que cria um link para as

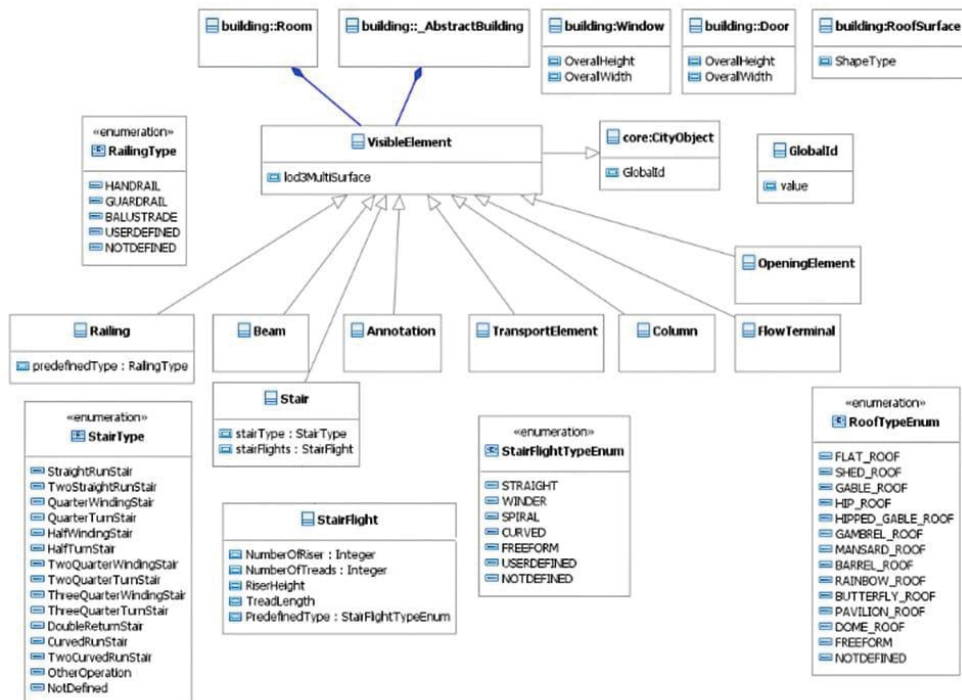
classes da ADE. Os autores concluíram que aproximadamente 10% das classes do IFC poderiam ser utilizadas como atributos para o *CityGML* (De Laat; Van Berlo, 2011). O diagrama UML do GeoBIM consta na Figura 19.

FIGURA 18 – DIAGRAMA UML DE UMA ADE DA VERSÃO 3.0 DO CITYGML



FONTE: Kolbe et al. (2021, cap. 9.3).

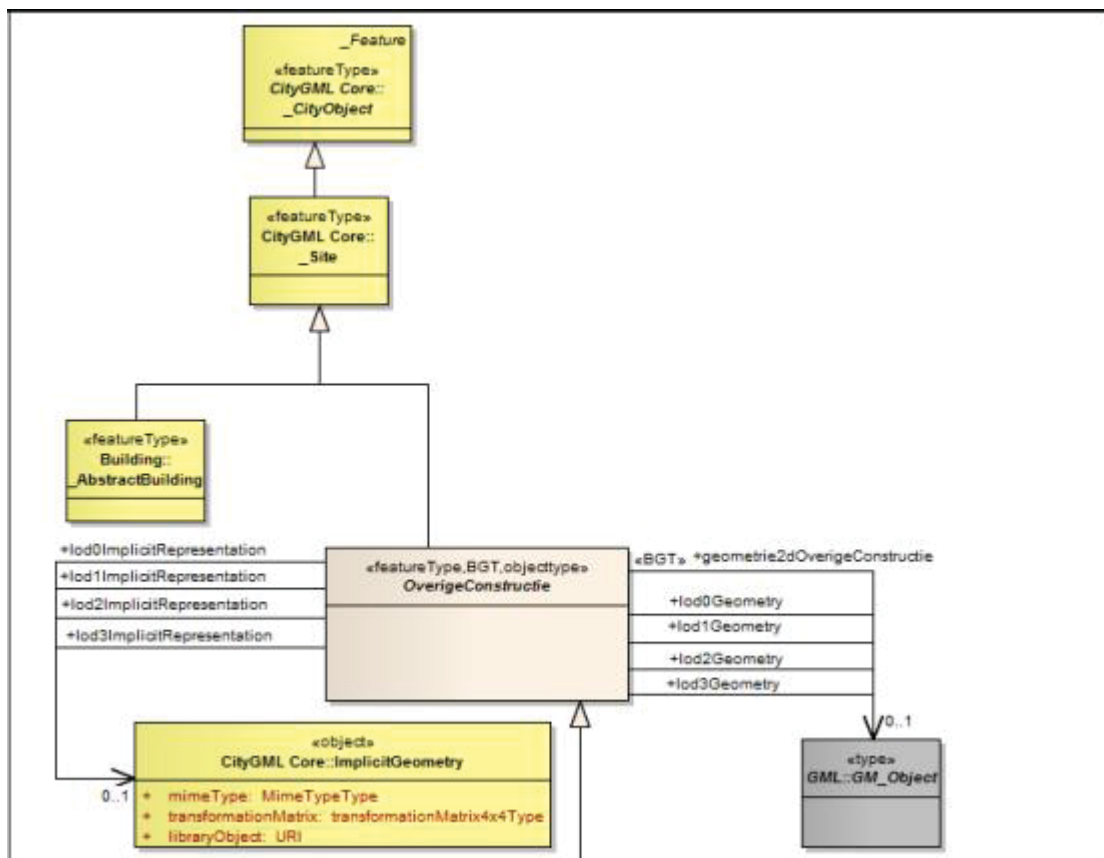
FIGURA 19 – DIAGRAMA UML DA ADE GEOBIM



FONTE: De Laat e Van Berlo (2011, p. 8).

O trabalho de Van der Brink et al. (2012) descreve como os autores criaram a IMGeo - padrão nacional 3D holandês - a partir de diagramas UML, sendo essa a abordagem adotada pelo *Special Interest Group 3D* (SIG 3D), rede independente de especialistas em modelos 3D de cidades (SIG3D, 2024). Após comparações entre algumas alternativas possíveis, foi selecionada como melhor opção o método no qual todas as classes IMGeo são modeladas como subclasses *CityGML*, recebendo o mesmo nome dessas, porém com o estereótipo <<ADEElement>>. A essas classes foram adicionadas propriedades do domínio específico. Os autores realizaram um mapeamento conceitual entre o *CityGML* e a IMGeo a fim de comparar os conceitos em nível semântico, ou seja, independentemente do nível de detalhe. Para cada classe IMGeo, nem sempre havia uma classe *CityGML* correspondente, o que poderia ser solucionado remodelando a classe na IMGeo ou criando uma nova classe, como uma subclasse de uma das classes *CityGML*. A Figura 20 apresenta uma parte do diagrama de classes da IMGeo (Van Der Brink et al., 2012).

FIGURA 20 – DIAGRAMA UML DA ADE IMGEO



FONTE: Van Der Brink et al. (2012).

A concepção de uma ADE está sujeita a uma certa subjetividade, conforme relatado por Biljecki et al. (2021), que desenvolveram uma ADE para dar suporte à retenção de informações relevantes do IFC, quando convertido para *CityGML*. A IfcADE, como foi chamada, foi modelada classificando o modelo do IFC em três categorias: recursos que podem ser desconsiderados, pois não precisam ser traduzidos para *CityGML*; recursos que podem ser alocados no modelo de dados padrão *CityGML*; e recursos que não podem ser alocados e requerem uma extensão para serem preservados. Por outro lado, alguns recursos do IFC estão conceitualmente disponíveis por mapeamento direto, enquanto outros podem ser derivados após um certo grau de processamento (Biljecki et al., 2021).

A combinação dessas dimensões e aspectos resulta em quatro grupos principais de características (Figura 21):

- As que são mapeadas diretamente do IFC para o *CityGML*;
- As que são mapeadas após processamento adicional durante a conversão para o *CityGML*;
- As que são mapeadas diretamente do IFC para a ADE;
- As que são mapeadas após processamento adicional para a ADE (Biljecki et al., 2021).

FIGURA 21 – CARACTERÍSTICAS DE CONVERSÃO IFC-CITYGML NA IFC ADE



FONTE: Biljecki et al. (2021).

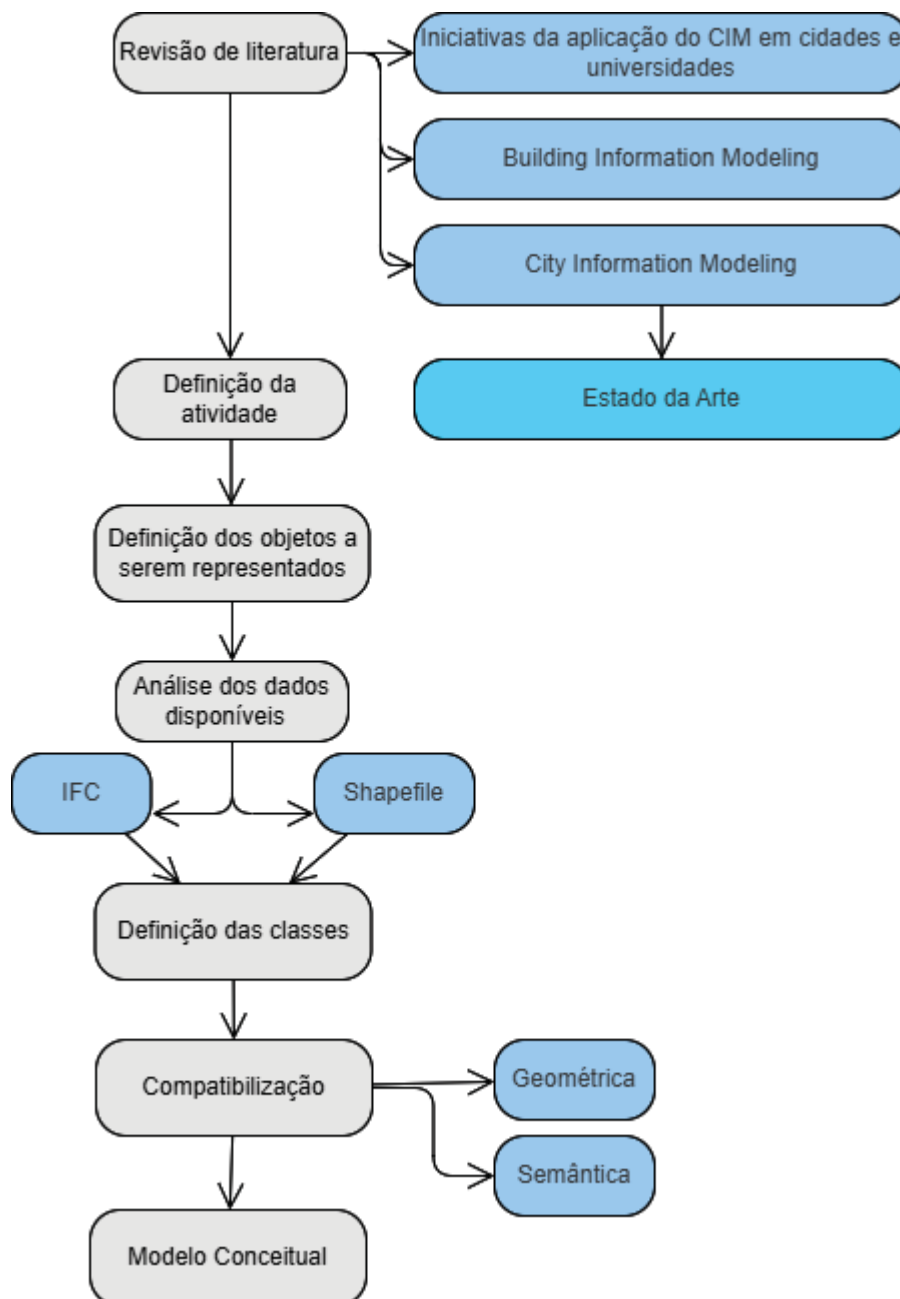
Para a criação das classes, o conteúdo do IFC foi analisado com o intuito de procurar informações potencialmente úteis, não existentes no padrão *CityGML*. Foram realizadas consultas a especialistas em áreas nas quais a ADE seria aplicada,

como planejamento urbano, modelagem de energia e administração de terras. Os autores optaram por não criar subclasses dos elementos, mas sim classes associadas a essas, que continham os atributos adicionais que o IFC poderia oferecer ao *CityGML*. Também foram criadas novas classes para elementos que não existiam no *CityGML*, como elevadores, por exemplo (Biljecki et al., 2021).

### 3. METODOLOGIA

Esse capítulo descreve os procedimentos envolvidos na proposição do modelo de organização de dados para o *City Information Modeling*. A Figura 22 apresenta uma visão geral da metodologia do trabalho.

FIGURA 22 – VISÃO GERAL DA METODOLOGIA



FONTE: A Autora (2024)

A pesquisa teve início com uma revisão de literatura a respeito das iniciativas da aplicação do City Information Modeling em cidades e universidades, bem como do Building Information Modeling e também do City Information Modeling em si e seu estado da arte. Após essa etapa foi definida qual atividade seria utilizada para o desenvolvimento do modelo conceitual, sendo escolhida a atividade de elaboração de projeto técnico de prevenção a incêndio e a desastre. A partir de códigos e normas vigentes, foram definidos quais os objetos cuja informação é relevante para o projeto e a quais os dados disponíveis a respeito das edificações e seu entorno. A partir dos objetos, foram definidas as classes que os representam nos formatos disponíveis (IFC e *shapefile*). Foi conduzida a compatibilização das classes entre o *CityGML* e os modelos dos dados IFC e *shapefile*, que permitiu definir as classes do modelo conceitual da ADE.

Na seção 3.1 são apresentados os materiais utilizados no trabalho, na seção 3.2, a Universidade Federal do Paraná e na seção 3.3, a atividade de elaboração de projeto técnico de prevenção a incêndio e a desastre. O desenvolvimento da ADE ocorre a partir da seção 3.4, com a definição das classes. Na seção 3.5, é descrita a compatibilização geométrica e, na seção 3.6, a compatibilização semântica. A seção 3.7 apresenta a elaboração do modelo conceitual para a ADE.

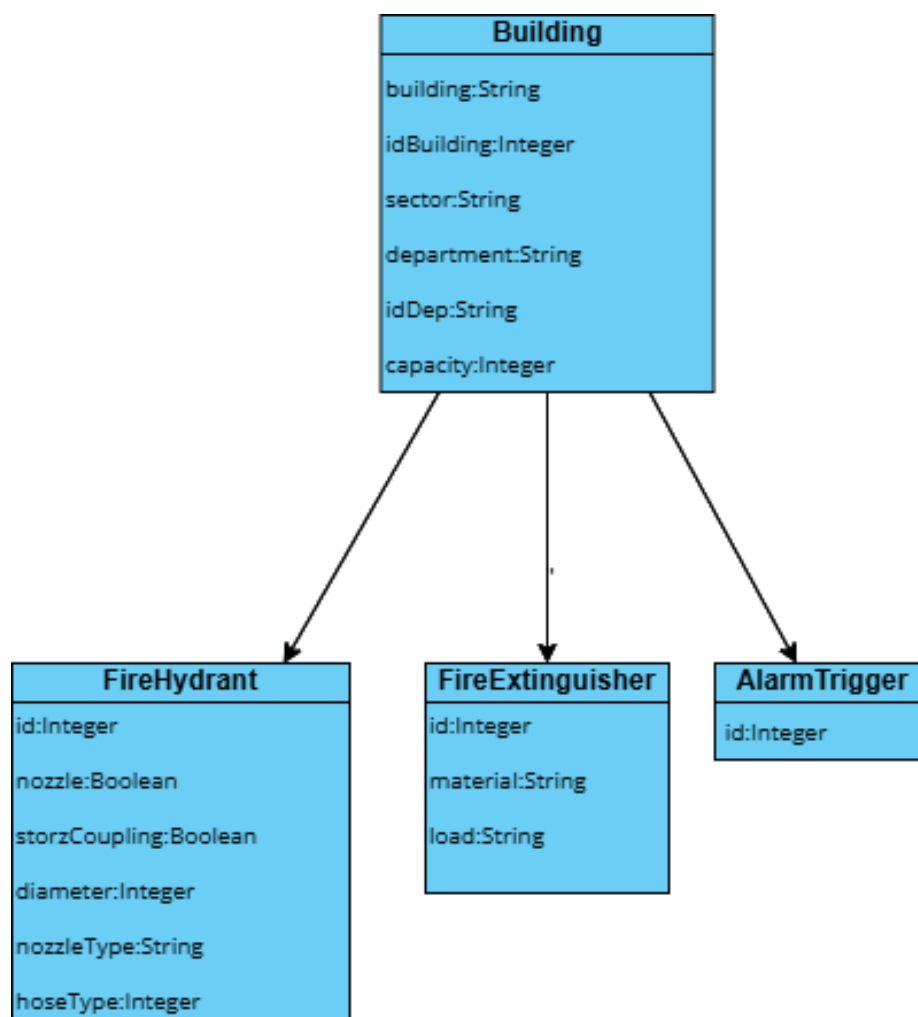
### 3.1 MATERIAIS

Para a elaboração da estrutura da ADE, foram utilizados os seguintes documentos:

- Código de segurança contra incêndio e pânico – CSCIP do estado do Paraná, documento que dispõe sobre as medidas de prevenção e combate a incêndio e a desastres nas edificações, estabelecimentos, áreas de risco e eventos temporários no estado do Paraná;
- Documentação do *CityGML* 3.0 e do IFC 4.3, na qual são descritas as classes e atributos dos modelos;
- *Software Visual Paradigm* para a elaboração dos diagramas de classes;
- Dados geoespaciais vetoriais obtidos por mapeamentos do projeto UFPR *CampusMap* (UCM) da Universidade Federal do Paraná. Os dados estão estruturados pelo modelo conceitual, baseado na ET-EDGV - Especificação Técnica para

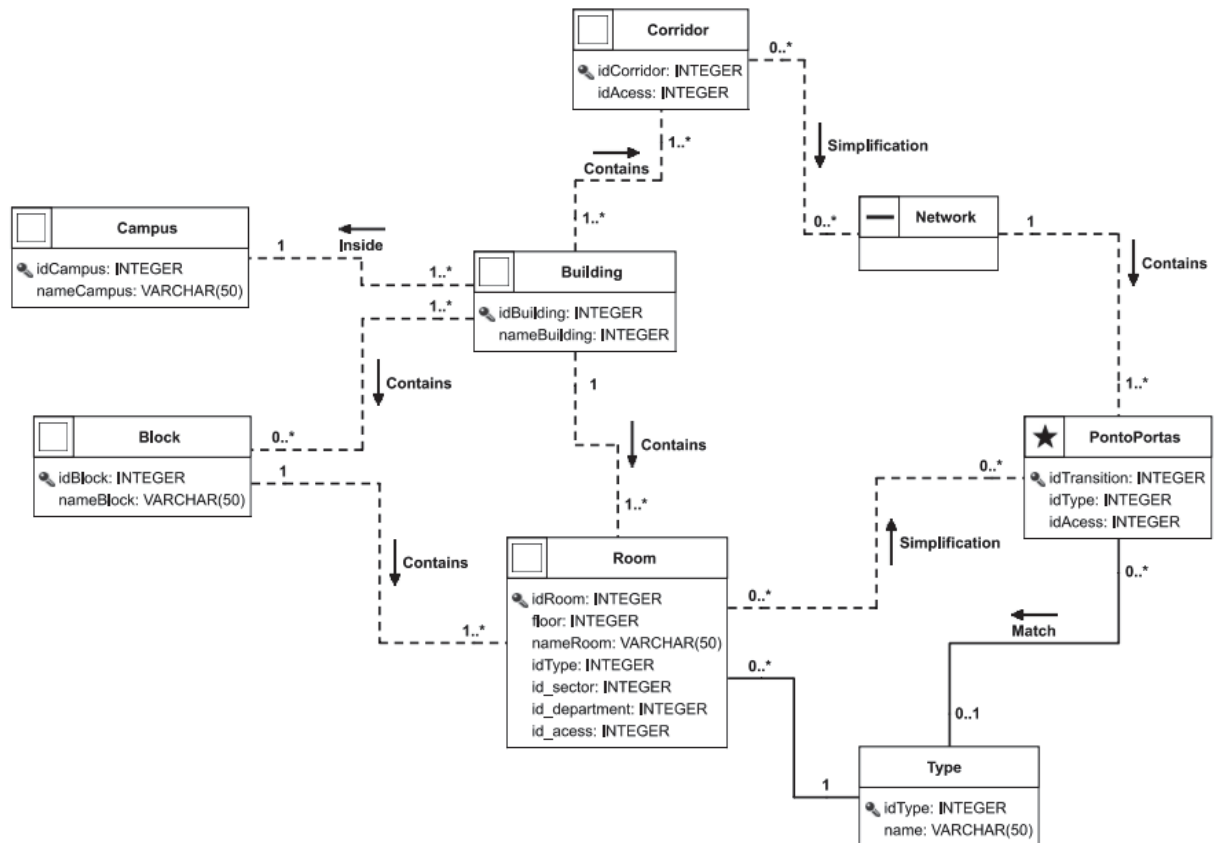
Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais, norma que estrutura todas as classes de objetos, atributos, além das relações espaciais e topológicas que são tratadas na fase de aquisição dos dados geoespaciais (CONCAR, 2017). O mapeamento do UCM foi utilizado para obter dados a respeito de elementos internos que não possuíam classe específica no modelo IFC, como os extintores, por exemplo (conforme modelo conceitual da Figura 23), e do entorno das edificações, servindo como base para a criação do modelo 3D do *CityGML* (conforme modelo conceitual da Figura 24).

FIGURA 23– MODELO CONCEITUAL DO LEVANTAMENTO DE EQUIPAMENTOS DE INCÊNDIO



FONTE: A Autora (2024)

FIGURA 24 – MODELO CONCEITUAL DO UFPR CAMPUS MAP



FONTE: CEPAG (2024)

### 3.2 UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

Fundada em 1912, a Universidade Federal do Paraná, com sede no Município de Curitiba no Estado do Paraná, é uma autarquia de regime especial com autonomia administrativa, financeira, didática e disciplinar, mantida pela União nos termos da Lei nº 1.254 de 04 de dezembro de 1950. Atua no ensino superior nos níveis de graduação (licenciaturas, bacharelados e cursos superiores de tecnologia) e pós-graduação (*stricto* e *lato sensu*), no desenvolvimento da pesquisa e nos programas e projetos de extensão e cultura (Universidade Federal do Paraná, 2019).

Em 2023, a Universidade possuía aproximadamente 27 mil alunos de graduação, 5 mil de pós-graduação Lato Sensu e 5 mil alunos de pós-graduação Stricto Sensu (Universidade Federal Do Paraná, 2024). Em outubro de 2023, contava com 2.757 servidores docentes e 3.212 servidores técnico-administrativos, conforme relatórios emitidos pela Pró-Reitoria de Gestão de Pessoas. A estrutura da

Universidade é composta por pró-reitorias, órgãos auxiliares, setores e *campi* localizados no interior e litoral do estado.

As atividades referentes ao planejamento do espaço físico da UFPR são hoje conduzidas pela Coordenadoria de Urbanismo Territorial e Ambiental (CTA) da PROPLAD, Pró- Reitoria de Planejamento e Dados. Estima-se que a UFPR possua 11.259.404, 02 m<sup>2</sup> de área, incluindo terrenos não-edificados. As edificações ocupam aproximadamente 508.195,86 m<sup>2</sup>, distribuídas na região metropolitana de Curitiba, no litoral e no interior (Universidade Federal do Paraná, 2024).

As atividades desenvolvidas pela CTA que utilizam dados a respeito do ambiente físico da Universidade. Essas compreendem:

- Coordenar as diretrizes e ações relativas aos espaços, territórios, edifícios e infraestrutura da UFPR, especialmente quanto ao uso, à expansão e à desmobilização;

- Elaborar ou coordenar a elaboração dos planos setoriais e específicos; avaliar e emitir pareceres sobre a viabilidade e a pertinência das demandas relativas ao uso e ocupação do solo e das edificações, existentes e futuras;

- Elaborar projetos e material técnico para o processo licitatório, quando contratados;

- Executar a fiscalização técnica de contratos de elaboração de projetos;

- Elaborar a planilha orçamentária e o planejamento de obras e serviços;

- Emitir laudo de avaliação de imóveis próprios da Universidade ou locados.

### 3.3 ESCOLHA DA ATIVIDADE

Nesta seção, será apresentada a atividade escolhida para a elaboração do modelo conceitual. A elaboração do projeto de prevenção a incêndio e desastre, apresentado detalhadamente na seção 3.3.1, é conduzida pelo corpo técnico da CTA, sendo de suma importância para a segurança da comunidade acadêmica. A UFPR possui em suas dependências ambientes com grande circulação de pessoas, laboratórios nos quais são manipulados conteúdos inflamáveis, além de edificações com tipologias diversas e construídas há anos, em desacordo com as atuais normas vigentes. Portanto, além de projetos novos, uma atividade realizada com frequência é a adequação das edificações existentes.

Para o projeto de adequação de uma edificação existente ser elaborado, são necessárias informações a respeito da edificação e do entorno, pois é preciso acesso à viatura dos bombeiros, bem como o distanciamento entre edificações. Além disso, é necessária uma quantidade maior de dados, pois as medidas existentes na edificação, como extintores e luminárias de segurança, devem ser consideradas. Por esse motivo, a elaboração de projeto considerada neste trabalho englobará também os projetos realizados para adequação de edificações existentes. A fonte de consulta dos projetistas hoje, na universidade, são arquivos em formato *shapefile*, *dwg* e modelos BIM, em formato IFC.

### 3.3.1 Projeto técnico de prevenção a incêndio e a desastre (PTPID)

A atividade de elaboração de projeto técnico de prevenção a incêndio e a desastre é desenvolvida com base no Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico do Paraná (CSCIP) e nas Normas de Procedimento Técnico do Corpo de Bombeiros do Paraná (NPTs). O CSCIP (PARANÁ, 2018) apresenta as seguintes medidas de segurança que devem ser adotadas nas edificações:

- Controle de materiais de acabamento;
- Saídas de emergência;
- Iluminação de emergência;
- Sinalização de emergência;
- Extintores;
- Brigada de Incêndio;
- Detecção de incêndio;
- Alarme de incêndio;
- Acesso de viatura na edificação;
- Segurança estrutural;
- Compartimentação vertical;
- Compartimentação horizontal (áreas);
- Hidrante e mangotinhos;
- Chuveiros automáticos;
- Controle de fumaça;
- Plano de emergência.

O tipo de uso de uma edificação é uma das características que define quais as medidas de combate ao incêndio devem constar no projeto, sendo essa classificação um dado de extrema importância. As edificações da UFPR possuem uma grande variedade de usos, sendo enquadradas em quase todas as categorias de uso possíveis, com exceção apenas das categorias B e L, referentes a Serviços de Hospedagem e Explosivos, respectivamente. As categorias são definidas pelo CSCP. O Quadro 2 traz a classificação das categorias, com exemplos de edificações da Universidade.

QUADRO 2 – CLASSIFICAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES DA UFPR QUANTO À OCUPAÇÃO - continua

GRUPO	USO	DIVISÃO	DESCRIÇÃO	EXEMPLO DE EDIFICAÇÃO DA UNIVERSIDADE
A	Residencial	A-1	Habitação unifamiliar	Residências funcionais
		A-3	Habitação coletiva	Casa da Estudante
C	Comercial	C-2	Comércio com média e alta carga de incêndio (acima de 300 MJ/m <sup>2</sup> )	Copiadoras
D	Serviço profissional	D-1	Local para prestação de serviço profissional ou condução de negócios	Departamentos administrativos
		D-3	Serviço de reparação (exceto os classificados em G-4)	Oficina de inservíveis
		D-4	Laboratório	Laboratórios
E	Educativa e cultura física	E-1	Escola em geral	Salas de aula
		E-2	Escola especial	Salas aulas de artes
		E-3	Espaço para cultura física	Salas para práticas do curso de Educação Física, piscinas
		E-4	Centro de treinamento profissional	Salas para educação profissional e tecnológica

QUADRO 2 – CLASSIFICAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES DA UFPR QUANTO À OCUPAÇÃO – continua

F	Local de Reunião de Público	F-1	Local onde há objeto de valor inestimável	Museu de Arqueologia, Museu de Arte, Museu de Ciências Naturais, bibliotecas
		F-2	Local religioso e velório	Capela da Reitoria
		F-3	Centro esportivo e de exibição	Pista de atletismo
		F-5	Arte cênica e auditório	Teatro da reitoria e auditórios
		F-8	Local para refeição	Cantinas e restaurantes universitários
G	Serviço automotivo e assemelhados	G-2	Garagem com acesso de público e sem abastecimento	Garagem da Centran
H	Serviço de saúde e institucional	H-1	Hospital veterinário e assemelhados	Hospitais veterinários
		H-6	Clínica e consultório médico e odontológico	Clínica odontológica
I	Industrial	I-1	Locais onde as atividades exercidas e os materiais utilizados apresentam baixo potencial de incêndio. (carga de incêndio até 300MJ/m <sup>2</sup> )	Estúdios escola
		I-2	Locais onde as atividades exercidas e os materiais utilizados apresentam médio potencial de incêndio. (carga de incêndio acima de 300MJ/m <sup>2</sup> e até 1.200MJ/m <sup>2</sup> )	Estúdios de aulas de música
J	Depósito	J-1	Depósitos de material incombustível	Laboratórios e almoxarifados
M	Especial	M-2	Líquido ou gases inflamáveis ou combustíveis	Laboratórios com manipulação de gases inflamáveis
		M-3	Central de comunicação e energia – equipamentos	Central telefônica e de dados
		M-4	Propriedade em transformação	Obras

QUADRO 2 – CLASSIFICAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES DA UFPR QUANTO À OCUPAÇÃO – continua

M	Especial	M-5	Unidades de armazenamento e/ou beneficiamento de produtos agrícolas e insumos	Depósitos de produtos agrícolas nas fazendas experimentais
		M-6	Terra selvagem	Área de vegetação no Campus Jardim Botânico

FONTE: Adaptado de Paraná (2018).

Outras classificações importantes das edificações presentes no CSCIP dizem respeito à carga de incêndio e à altura da edificação. A carga de incêndio, que conforme a Norma de Procedimento Técnico 014, do corpo de bombeiros do Paraná, é a “soma das energias caloríficas possíveis de serem liberadas pela combustão completa de todos os materiais combustíveis em um espaço, inclusive os revestimentos das paredes, divisórias, pisos e tetos” (Paraná, 2018, p. 2), é um fator determinante no projeto. Essa é calculada conforme a área da edificação e as tabelas que constam na norma. A classificação referente à carga de incêndio é apresentada no Quadro 3 e a classificação quanto à altura, no Quadro 4.

QUADRO 3 – CLASSIFICAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES QUANTO À CARGA DE INCÊNDIO

RISCO	CARGA DE INCÊNDIO MJ/M <sup>2</sup>
Leve	Até 300MJ/m <sup>2</sup>
Moderado	Acima de 300 até 1.200MJ/m <sup>2</sup>
Elevado	Acima de 1.200MJ/m <sup>2</sup>

FONTE: Paraná (2018).

QUADRO 4 - CLASSIFICAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES QUANTO À ALTURA - continua

TIPO	DENOMINAÇÃO	ALTURA
I	Edificação Térrea	Edificação Alta
II	Edificação Baixa	H ≤ 6,00 m
III	Edificação de Baixa-Média Altura	6,00 m < H ≤ 12,00 m
IV	Edificação de Média Altura	12,00 m < H ≤ 23,00 m
V	Edificação Mediamente Alta	23,00 m < H ≤ 30,00 m
VI	Edificação Alta	Acima de 30,00 m

FONTE: Paraná (2018).

### 3.4 DEFINIÇÃO DAS CLASSES

A escolha da atividade implica que os atores envolvidos em sua execução definam o tipo e quantidade de informação necessários para desenvolvê-la, para que sejam definidas as classes da ADE. No caso do PTPID, para cada medida de segurança que a norma dispõe, existem informações que são necessárias para a elaboração do projeto. Por exemplo, para as saídas de emergência serem dimensionadas, é necessário saber a altura da sala, largura das escadas e portas, entre outras informações relacionadas a objetos do mundo real, que pertencem às edificações e ao entorno. Esses objetos foram elencados, assim como o formato de arquivo em que podem ser representados.

A partir da lista dos objetos, foram definidas as classes que os representam no *CityGML* e no modelo de dados do formato de origem, do IFC ou do UCM. Por exemplo, a largura e a altura das portas são dados que podem ser encontrados nos modelos BIM do edifício, em formato IFC. A localização dos extintores, por sua vez, é um dado mapeado pelo UCM, em formato *shapefile*.

A partir da identificação das classes, foi conduzida a compatibilização geométrica e semântica entre os modelos.

### 3.5 COMPATIBILIZAÇÃO GEOMÉTRICA

Para verificar a compatibilização geométrica entre o modelo de dados do *CityGML* e os modelos dos dados necessários, foi feita uma análise de correspondência. Existem diversas formas de compatibilização entre diferentes modelos de dados na literatura, não havendo consenso sobre a utilização de algum em específico (Santos, 2021). Como a grande maioria das informações requeridas está no formato IFC, foi avaliada, primeiramente, a compatibilização entre o modelo do IFC e do *CityGML*, para a atividade escolhida.

Para a compatibilização geométrica entre o IFC e o *CityGML*, foram utilizados os conceitos de *Level Of Development* (LoD) do BIM Forum, para o IFC, e o *Level of Detail* (LOD) do *CityGML*. Ambos os conceitos foram apresentados na revisão de literatura, o LoD do BIM Forum no item 2.2 e o LOD do *CityGML* no 2.3.1.

Cada objeto IFC a ser representado no modelo teve seu LoD definido. Por exemplo, para o objeto porta, são necessárias informações a respeito de largura, área, sentido de abertura, operação e material. Essas informações referem-se a um LoD mínimo de 350 no IFC, pois “o elemento do modelo, conforme projetado, é representado graficamente dentro do modelo de modo que sua quantidade, tamanho, forma, localização, orientação e interfaces como elementos do modelo adjacentes ou dependentes possam ser medidos” (BIM Forum, 2023, p. 15).

A partir do LoD do IFC, foi realizada a correspondência com o LOD do *CityGML*. No caso das portas, por exemplo, o LOD envolve um LOD3 interno e LOD3 externo. A versão 3.0 do *CityGML*, conforme já mencionado no item 2.3.1, diferencia os LOD's de dentro e de fora da edificação. Aberturas externas são adicionadas no LOD3, e seguiu-se a mesma lógica para a parte interna.

Para as classes do UCM, a compatibilização geométrica foi conduzida conforme proposto por Santos (2021), a partir do disposto na ET-EDGV e na documentação do *CityGML* 2.0, que aqui foi utilizada como analogia, visto que a especificação dos LOD's é mais completa nessa versão. Para as classes *Building* e *RoadSegment* foram analisadas as escalas e sua relação com os LOD's do *CityGML*. O propósito dessa relação é definir, para cada classe, qual o LOD em cada escala e se as mesmas existiriam na representação (Santos, 2021).

As classes *Building* e *RoadSegment* estão representadas no Quadro 5. As classes *Room* e *Corridor*, por pertencerem ao mapeamento *indoor*, não são abrangidos pela ET-EDGV.

QUADRO 5 – AQUISIÇÃO DE OBJETOS SEGUNDO A ESCALA

CÓDIGO	CLASSE	ESCALAS	A	L	P
			s>=(mm <sup>2</sup> )	D>=(mm)	
2.2.27	<i>RoadSegment</i>	1-100	12,5	10	-
2.4.3	<i>Building</i>	1-100	1	-	X

FONTE: Adaptado de CONCAR (2018)

O Quadro 5 apresenta ainda as escalas previstas para aquisição da classe, sendo o valor referente ao milhar do denominador da escala, ou seja, *RoadSegment*, por exemplo, pode ser representado desde a escala 1:1.000 até a escala 1:100.000. A, L e P representam possíveis opções de primitivas gráficas para aquisição do objeto, segundo sua dimensão. No caso de uma representação de área (A), para o

*RoadSegment*, por exemplo, essa deve ser maior do que 12,5mm<sup>2</sup>. No caso de representação por linha (L), o comprimento deve ser maior do que 10mm. Para essa classe não é possível a representação por ponto (P) (CONCAR, 2018).

A documentação do *CityGML 2.0* dispõe que (*OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM*, 2012, p. 12):

“No LOD1, a acurácia posicional e de altura dos pontos deve ser de 5m ou menos, enquanto todos os objetos com uma dimensão de pelo menos 6m por 6m devem ser considerados. A acurácia posicional e de altura do LOD2 é proposta para ser de 2m ou melhor. Nesse LOD, todos os objetos com uma dimensão de pelo menos 4m × 4m devem ser considerados. Ambos os tipos de acurácia no LOD3 devem ser de 0,5m, e sugere-se que a dimensão mínima seja de 2m × 2m. Finalmente, a acurácia posicional e de altura do LOD4 deve ser de 0,2m ou menos.”

O Quadro 8 apresenta os elementos mínimos representáveis no *CityGML*. O quadro foi adaptado de Santos (2021), com a exclusão do LOD 4, pois na versão 2.0, esse era utilizado para representações de interior e de elementos construtivos.

QUADRO 6 – ELEMENTOS REPRESENTÁVEIS NO *CITYGML*

LOD	ÁREA (m <sup>2</sup> )	LINHA (m)
1	36	6
2	16	4
3	4	2

FONTE: Adaptado de Santos (2021)

As dimensões mínimas de representação de A e L, no Quadro 6, foram calculadas para cada escala. Foram também comparados aos mínimos considerados para o *CityGML 2.0*, para verificar sua representação nesse modelo.

### 3.6 COMPATIBILIZAÇÃO SEMÂNTICA

Para a compatibilização semântica, foi conduzido um alinhamento de classes e atributos. Cada informação necessária apresentada no Quadro 9 do capítulo 4 pode ser considerada uma característica do objeto do mundo real. Por exemplo, se a informação necessária for “material do piso”, o objeto do mundo real em questão seria o piso, conforme disposto na seção 3.4. O material seria a característica do piso, ou seja, um atributo da classe referente ao piso. Para cada objeto, foram reunidas as informações necessárias, definidas como atributos.

A partir dos atributos definidos, foi verificado se as classes correspondentes ao objeto, continham esses atributos. Por exemplo: foi verificado nas classes *FloorSurface* e *IfcCovering*, que representam o piso, se essas contêm o material como atributo. Nesse exemplo, os materiais, tanto no *CityGML* como no IFC, pertencem a classes específicas, portanto, o atributo não estava nas classes. Essa verificação foi realizada para todos os objetos.

### 3.7 MODELO CONCEITUAL DA ADE

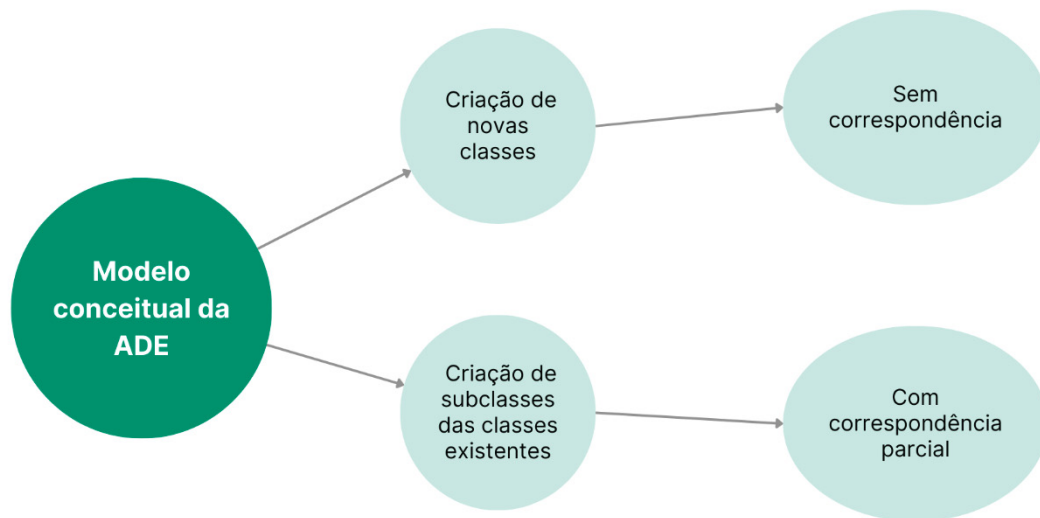
Esse item explica os procedimentos para a elaboração do modelo conceitual da ADE, neste trabalho chamada de ADE\_FirePrev.

Após a análise, os atributos foram então divididos em três categorias:

1. Aqueles que possuem correspondência com atributos e classes do *CityGML*. Por exemplo: a altura das salas, no IFC, é armazenada no atributo *Height*, do conjunto de propriedades *Qto\_BuildingBaseQuantities*, classe associada à *IfcSpace*. No *CityGML*, esse atributo é alocado na classe *BuildingRoom*, especificamente no atributo *RoomHeight*.
2. Aqueles que possuem correspondência parcial, ou seja, existe uma classe correspondente àquele objeto ou propriedade no *CityGML*, mas não o atributo. Ou existe o atributo, mas não existe classe específica para aquele objeto. Por exemplo: operação e sentido das portas, cuja classe existe, mas não o atributo; ou dados referentes a materiais ou à localização de elementos que não constam no *CityGML*, como luminárias de emergência.
3. Aqueles que não possuem correspondência nenhuma.

Na ADE, foram incluídos os atributos do segundo e terceiro grupo, pois os que possuem correspondência não necessitam de inclusão. Para a criação das classes, foi seguida a orientação da documentação do *CityGML* versão 3.0, pois as notações e estereótipos UML usados no modelo conceitual *CityGML* também devem ser aplicados aos elementos correspondentes em uma ADE (Kolbe et al., 2021). A criação das classes seguiu o disposto na Figura 25.

FIGURA 25 – PROCESSO DE CRIAÇÃO DE CLASSES DA ADE



FONTE: A Autora (2024)

Uma classe referente a um objeto do mundo real com geometria deve ser derivada direta ou indiretamente de *Core::AbstractSpace* ou *Core::AbstractSpaceBoundary*. Assim, as propriedades espaciais predefinidas do *CityGML* e o conceito LOD associado são herdados e disponibilizados para a classe (Kolbe et al., 2021).

Primeiro, os objetos do mundo real que não têm representação no *CityGML* foram identificados. São eles: corrimão, saída/entrada de ar, lâmpada de emergência, placa de emergência, extintor de incêndio, gatilho de alarme, indicador de alarme, detector de fumaça, hidrante, cano de incêndio, bomba de incêndio, válvula de alívio de pressão e válvula de sprinkler automática. As seguintes classes foram criadas para esses objetos, derivadas da classe *AbstractOccupiedSpace*: *AirDuct*, *Railing*, *AirTerminal*, *EmergencyLamp*, *EmergencySign*, *FireExtinguisher*, *Alarm* (os gatilhos e indicadores serão definidos nos atributos), *SmokeDetector*, *Hydrant*, *PipeSegment*, *Pump* e *Valve* (a diferença entre alívio de pressão e sprinkler será definida nos atributos).

Para objetos que têm classes no *CityGML*, a abordagem adotada para a criação de subclasses para o ADE envolveu a marcação de sua relação de especialização com o estereótipo <<ADE>>, uma metodologia que foi empregada por Van der Brink et al (2012). Novas classes foram derivadas das classes existentes

*Road, BuildingRoom, AbstractBuilding, Door, BuildingUnit e AbstractAppearance.* Seus nomes foram definidos com a sigla “FirePrev” após o nome da classe original, como *RoadFirePrev, BuildingRoomFirePrev, etc.*

O material e sua classe de resistência ao fogo, definidos pela Norma de Procedimento Técnico 10 do Corpo de Bombeiros do Paraná foram definidos como atributos de *AbstractAppearanceFirePrev*, nova classe derivada da *AbstractAppearance*.

Como a definição de CIM aborda de tecnologias interativas digitais, foi criada uma classe para armazenar informação vinda do sensor da bomba de incêndio, que indica seu funcionamento ou não. Sensores dos alarmes de incêndio não foram incorporados nessa ADE pois não produzem efeito prático na elaboração do PTPID. Entretanto, em aplicações voltadas ao esvaziamento da edificação devido a um desastre, essa informação, pode ser de grande utilidade. O resultado está apresentado no item 4.4.

## 4. RESULTADOS

Neste capítulo estão apresentados os resultados para cada passo da metodologia.

### 4.1 DEFINIÇÃO DAS CLASSES

Para cada tipo de medida de segurança, existe um requisito de informação, apresentado no Quadro 7.

QUADRO 7 – REQUISITOS DE INFORMAÇÃO - continua

MEDIDAS DE SEGURANÇA	REQUISITOS DE INFORMAÇÃO	OBJETOS DO MUNDO REAL
Controle de materiais de acabamento	Material do piso	Piso
	Material das paredes	Parede
	Material do forro	Forro
	Material da cobertura	Cobertura
Saídas de emergência	Altura das salas	Sala
	Altura da edificação	Edificação
	Largura de escadas	Escada
	Largura dos corredores	Corredor
	Largura, altura, sentido de abertura, operação e material das portas	Porta
	Altura de corrimão	Corrimão
	Presença de porta corta-fogo/barra antipânico	Porta
	População por sala	Sala
	Material do piso de escadas e rampas	Escada/Rampa
	Altura dos degraus e pé-direito das escadas	Escada
	Comprimento dos patamares	
	Comprimento e pé-direito da antecâmara da escada enclausurada	
	Distância ao piso dos dutos da escada enclausurada	Escada/Duto de ar
	Área da seção dos dutos da escada enclausurada	Duto de ar
	Proporção de dimensões dos dutos das escadas enclausuradas	
	Distância vertical entre os dutos de entrada e saída de ar	Duto de ar
	Distância horizontal em planta da saída de ar à porta de entrada da antecâmara	
Distância horizontal em planta da entrada de ar à porta de entrada da escada	Duto de ar/porta	

QUADRO 7 – REQUISITOS DE INFORMAÇÃO – continuação

Iluminação de emergência	Localização dos pontos de iluminação de emergência	Luminária de emergência
	Tipo de luminária de emergência	
	Nível de iluminamento (lux)	
Sinalização de emergência	Localização das placas de sinalização de emergência	Placa de sinalização de emergência
	Tipo de placa de sinalização de emergência	
Extintores	Localização dos extintores	Extintor
	Tipo de extintor	
Brigada de incêndio	Presença de brigada de incêndio	Edificação
Detecção de incêndio	Localização dos detectores	Detector de fumaça
Alarme de incêndio	Localização dos acionadores	Acionador de alarme
	Altura dos acionadores	Avisador de alarme
	Altura dos avisadores	
Acesso de viatura na edificação	Largura da via	Via
	Capacidade de carga da via	
	Altura livre da via	
	Largura e altura do portão de acesso	Portão
Segurança estrutural	Material das lajes	Laje
	Material das paredes	Parede
	Material das vigas	Viga
Compartimentação vertical	Material das lajes	Laje
	Material do piso	Piso
	Material da fachada	Fachada
	Material do elevador	Elevador
Compartimentação horizontal (áreas)	Material das portas	Porta
	Material da parede	Parede
	Localização das janelas	Janela
	Distância entre edificações	Edificação
Hidrante e mangotinhos	Localização dos hidrantes na edificação	Hidrante
	Dimensões do abrigo	Hidrante
	Altura do abrigo	Hidrante
	Material do abrigo	Hidrante
	Tipo do hidrante	Hidrante
	Diâmetro da mangueira	Hidrante
	Comprimento da mangueira	Hidrante
	Quantidade de válvulas	Hidrante
	Vazão mínima	Hidrante
	Pressão mínima	Hidrante
	Distância dos hidrantes às portas e escadas	Hidrante/porta/escada

QUADRO 7 – REQUISITOS DE INFORMAÇÃO – conclusão

Hidrante e mangotinhos	Localização da tubulação de incêndio	Tubulação
	Diâmetro da tubulação	Tubulação
	Material da tubulação	Tubulação
	Condição da tubulação (aparente ou oculta)	Tubulação
	Cor da tubulação	Tubulação
	Localização do reservatório	Reservatório
	Diâmetro do tubo de sucção	Bomba
	Vazão da bomba	Bomba
	Potência da bomba	Bomba
	Volume do reservatório	Reservatório
	Localização do registro de recalque	Registro
Chuveiros automáticos	Área das salas	Sala
	Localização do registro dos chuveiros	Registro
Controle de fumaça	Altura da edificação	Edificação
	Distância entre edificações	Edificação
	Localização das aberturas	Abertura
	Área das aberturas	Abertura
	Largura dos corredores	Corredor
	Área das salas	Sala
Plano de emergência	Localização da edificação	Edificação
	Endereço da edificação	Edificação
	Zoneamento da edificação	Edificação
	Distância entre edificações	Edificação
	Distância até o corpo de bombeiros	Edificação
	Tipo da construção	Edificação
	Tipo de ocupação	Edificação
	População por sala	Sala
	População total por andar	Andar
	Horários de funcionamento	Edificação
	Presença de PNE	Edificação
Carga de incêndio	Edificação	

FONTE: A Autora (2024)

Foram identificados 32 objetos do mundo real. O Quadro 8 apresenta, para cada objeto, qual a classe correspondente no *CityGML* e no modelo de dados de origem.

QUADRO 8 – OBJETOS E CLASSES - continua

<b>OBJETOS DO MUNDO REAL</b>	<b>CITYGML</b>	<b>IFC</b>	<b>UCM</b>
Janela	<i>Window</i>	<i>IfcWindow</i>	-
Sala	<i>BuildingRoom</i>	<i>IfcSpace</i>	<i>Room</i>
Edificação	<i>AbstractBuilding</i>	<i>IfcBuilding</i>	<i>Building</i>
Abertura	<i>AbstractFillingElement</i>	<i>IfcOpeningElement</i>	-
Reservatório	<i>BuildingConstructiveElement</i>	<i>IfcTank</i>	-
Escada	<i>BuildingInstallation</i>	<i>IfcStair</i>	-
Corredor	<i>BuildingInstallation</i>	<i>IfcSpace</i>	<i>Corridor</i>
Porta	<i>Door</i>	<i>IfcDoor</i>	-
Corrimão	-	<i>IfcRailing</i>	-
Portão	<i>Door</i>	<i>IfcDoor</i>	-
Piso	<i>FloorSurface</i>	<i>IfcCovering</i>	-
Parede	<i>InteriorSurface</i>	<i>IfcWall</i>	-
Forro	<i>CeilingSurface</i>	<i>IfcCovering</i>	-
Cobertura	<i>RoofSurface</i>	<i>IfcCovering</i>	-
Via	<i>Road</i>	-	<i>RoadSegment</i>
Laje	<i>BuildingConstructiveElement</i>	<i>IfcSlab</i>	-
Viga	<i>BuildingConstructiveElement</i>	<i>IfcBeam</i>	-
Fachada	<i>WallSurface</i>	<i>IfcWall</i>	-
Elevador	<i>BuildingInstallation</i>	<i>IfcTransportElement</i>	-
Andar	<i>BuildingUnit</i>	<i>IfcBuildingStorey</i>	-
Saída/Entrada de ar	-	<i>IfcFlowTerminal</i>	-
Luminária de emergência	-	<i>IfcLightFixture</i>	-
Placa de sinalização de emergência	-	<i>IfcSign</i>	-
Extintor	-	-	<i>FireExtinguisher</i>
Acionador de alarme	-	<i>IfcAlarm</i>	<i>AlarmTrigger</i>
Avisador de alarme	-	<i>IfcAlarm</i>	-
Detector de fumaça	-	-	-
Hidrante	-	<i>IfcFireSuppressionTerminal</i>	<i>FireHydrant</i>
Tubulação de incêndio	-	<i>IfcPipeSegment</i>	-
Bomba de incêndio	-	<i>IfcPump</i>	-
Registro de recalque	-	<i>IfcValve</i>	-

QUADRO 8 – OBJETOS E CLASSES - conclusão

Registro dos chuveiros automáticos	-	<i>IfcValve</i>	-
------------------------------------	---	-----------------	---

FONTE: A Autora (2024)

Foram verificados os objetos do mundo real que não possuem representação no *CityGML*. São estes: corrimão, saída/entrada de ar, luminária de emergência, placa de sinalização de emergência, extintor, acionador de alarme, avisador de alarme, detector de fumaça, hidrante, tubulação de incêndio, bomba de incêndio, registro de recalque e registro dos chuveiros automáticos.

Dos 32 objetos elencados, 19 tiveram classes do *CityGML* que os representassem. As classes do IFC, por sua vez, englobaram 29 dos 32 objetos. As classes do UCM, apenas 7 objetos. Esse resultado era esperado, visto que muitos dos objetos são elementos da edificação e o IFC é o formato mais voltado a este tema. Segue a definição de cada classe, conforme a documentação dos formatos *CityGML*, IFC e ET-EDGV.

O modelo do UCM, apesar de apresentar menos classes compatíveis com os objetos identificados, possui importância fundamental, pois os dados vetoriais servem como base para a criação de arquivos *CityGML*. Ou seja, ainda que contribua com menos informação para as classes da ADE, o UCM contribui com as informações geométricas e semânticas do modelo *CityGML* original.

#### 4.1.1 Janela

As janelas, no IFC, pertencem à classe *IfcWindow*. Conforme a documentação do IFC, “a janela é um elemento de construção predominantemente utilizado para proporcionar luz natural e ar fresco. Inclui abertura vertical, mas também abertura horizontal, como claraboias ou cúpulas de luz” (Buildingsmart, 2020, cap. 6.1.3.50.1, tradução nossa). No *CityGML*, a janelas pertencem à classe *Window*, e é definida como a “construção para fechar uma abertura numa parede ou telhado, destinada principalmente a admitir luz e/ou fornecer ventilação” (Kolbe et al., 2021, cap. 7.15.2, tradução nossa).

#### 4.1.2 Sala

As salas são representadas no IFC pela classe *IfcSpace*, que está relacionada à uma “área ou volume delimitado real ou teoricamente, que possui determinada função em uma edificação” (Buildingsmart, 2020, cap. 5.4.3.49.1, tradução nossa). No *CityGML*, a classe *BuildingRoom* é um “espaço dentro de uma edificação destinado à ocupação humana (por exemplo, um local de trabalho ou recreação) e/ou contenção de animais ou coisas. É uma entidade delimitada física e/ou virtualmente” (Kolbe et al., 2021, cap. 7.17, tradução nossa).

#### 4.1.3 Edificação

Edificações, no IFC, são representadas por *IfcBuilding* e no *CityGML*, por *Building*. *IfcBuilding* representa uma “estrutura que fornece abrigo para seus ocupantes ou conteúdo e fica em um só lugar” (Buildingsmart, 2020, cap. 5.4.3.3.1, tradução nossa). *Building* representa uma

construção independente e autoportante, coberta, geralmente murada, que pode ser acessada por humanos e normalmente projetada para ficar permanentemente em um só lugar. Destina-se à ocupação humana (por exemplo, um local de trabalho ou recreação), habitação e/ou abrigo de seres humanos, animais ou coisas (Kolbe et al., 2021, cap. 7.17, tradução nossa).

#### 4.1.4 Abertura

As aberturas, no IFC, são representadas pela classe *IfcOpeningElement*, que “representa um vazio dentro de qualquer elemento que tenha manifestação física” (Buildingsmart, 2020, tradução nossa). No *CityGML*, pode haver duas situações: se a abertura tiver um elemento que a preencha, como porta ou janela, é utilizada a classe *AbstractFillingElement*, superclasse abstrata para diferentes tipos de elementos que preenchem as aberturas de uma construção. No caso de a abertura não ser preenchida, pode-se utilizar a classe *AbstractUnoccupiedSpace* (Kolbe et al., 2021).

#### 4.1.5 Reservatório

Reservatórios, no IFC, são representados pela classe *IfcTank*, do tipo *STORAGE*, que compreende um “recipiente aberto ou fechado usado para armazenar

um fluido à pressão ambiente e a partir do qual ele pode ser fornecido ao sistema de distribuição de fluido” (Buildingsmart, 2020, cap. 7.4.3.57.1, tradução nossa). Por exemplo, tanques de armazenamento de água potável, tanques de armazenamento de combustível, etc. O *CityGML* não possui uma classe específica para reservatórios, porém, possui a classe *BuildingConstructiveElement*, que engloba os elementos estruturais essenciais de uma edificação (Kolbe et al., 2021). Considerando que um reservatório pode ser estrutural, foi utilizada essa classe.

#### 4.1.6 Escada

A classe *IfcStair* representa as escadas, no IFC. Conforme a documentação do IFC, uma escada é uma “passagem vertical que permite aos ocupantes caminhar de um nível de piso para outro em uma elevação diferente” (Buildingsmart, 2020, tradução nossa). No *CityGML*, as escadas são representadas pela classe *BuildingInstallation*, que representa uma parte permanente de um edifício (interna e/ou externa) que não tem o significado de uma *BuildingPart* (subdivisão física ou funcional de uma edificação). Exemplos são escadas, antenas, varandas ou pequenos telhados (Kolbe et al., 2021, tradução nossa). Nessa classe foram incluídos escadas, corredores e elevadores.

#### 4.1.7 Corredor

No IFC, e maneira análoga às salas, podem ser representados pela classe *IfcSpace*. No *CityGML*, pela classe *BuildingInstallation*.

#### 4.1.8 Porta

Representada pela *IfcDoor*, uma porta é um “elemento construtivo predominantemente utilizado para proporcionar acesso controlado de pessoas e bens. Inclui construções com operações articuladas, pivotantes, deslizantes e, adicionalmente, giratórias e dobráveis” (Buildingsmart, 2020, cap. 6.1.3.22, tradução nossa). No *CityGML*, a porta é representada pela classe *Door*, e definida como “uma construção para fechar uma abertura destinada principalmente ao acesso ou saída ou ambos” (Kolbe et al., 2021, cap. 8.15.1.9, tradução nossa).

#### 4.1.9 Corrimão

A classe que representa o corrimão, no IFC, é a *IfcRailing*. Essa engloba cinco tipos de corrimão: *HANDRAIL* (corrimão), *GUARDRAIL* (defensa), *BALUSTRADE* (balaustrada), *USERDEFINED* (definido pelo usuário) e *NOTDEFINED* (não definido). O tipo *handrail* é definido como “tipo de guarda-corpo projetado para servir como suporte estrutural opcional para cargas aplicadas por ocupantes humanos (na altura das mãos). Geralmente localizado próximo a rampas e escadas. Geralmente montado no chão ou na parede” (Buildingsmart, 2020, tradução nossa). Elementos não-estruturais, como corrimãos, hidrantes, extintores e tubulações não foram encaixados em nenhuma classe disponível do *CityGML*.

#### 4.1.10 Portão

Os portões podem ser representados pelas mesmas classes que representam as portas.

#### 4.1.11 Piso

O piso de uma edificação é representado pela classe *IfcCovering*, que representa um “elemento que cobre alguma parte de outro elemento e é totalmente dependente desse outro elemento”. A classe abrange dez tipos: *CEILING* (forro), *FLOORING* (piso), *CLADDING* (revestimento), *ROOFING* (telhado), *INSULATION* (isolamento), *MEMBRANE* (membrana), *SLEEVING* (dutos para passagem de cabeamento), *WRAPPING* (envelopamento), *USERDEFINED* (definido pelo usuário) e *NOTDEFINED* (não definido) (Buildingsmart, 2020, tradução nossa). O piso, no *CityGML*, é representado pela classe *FloorSurface*, que representa “o piso interior de uma construção” (Kolbe et al., 2021, cap. 8.15.1.11, tradução nossa).

#### 4.1.12 Parede

A classe de representação de paredes no IFC é *IfcWall*, que compreende uma “construção vertical que delimita ou subdivide espaços”. As paredes são geralmente elementos planos verticais ou quase verticais, geralmente projetados para suportar

cargas estruturais (Buildingsmart, 2020, tradução nossa). No entanto, uma parede não precisa ser estrutural. No *CityGML*, as paredes internas são representadas pela classe *InteriorWallSurface* (Kolbe et al., 2021, cap. 8.15.1.13, tradução nossa).

#### 4.1.13 Forro

O forro, no IFC, também pertence à classe *IfcCovering*, do tipo *CEILING*, conforme mencionado. No *CityGML*, a classe *CeilingSurface* é a classe que representa o forro de um ambiente (Kolbe et al., 2021).

#### 4.1.14 Cobertura

A cobertura, no IFC, pode ser representada pelas classes *IfcCovering*, do tipo *ROOFING*, ou pela própria classe *IfcRoof*, que representa uma descrição do telhado total. Atua como uma entidade contêiner, que agrega todos os componentes da cobertura que representa (Buildingsmart, 2020). A agregação é tratada pelo relacionamento *IfcRelAggregates*, relacionando um telhado (*IfcRoof*) com as entidades de telhado relacionadas, como lajes (*IfcSlab*), vigas e terças (*IfcBeam*), ou outros telhados (incluídos), como águas-furtadas (*IfcRoof*). No *CityGML*, a classe que delimita o telhado da construção é *RoofSurface* (Kolbe et al., 2021).

#### 4.1.15 Via

As vias são representadas pela classe *RoadSegment* do modelo conceitual do UCM. Essa classe é baseada na ET-EDGV, que especifica o trecho de arruamento como um “trecho de uma via interna de uma área urbana” (CONCAR, 2017, p. 103). No *CityGML* existe a classe *Road*, que representa um “espaço de transporte usado por veículos, bicicletas e pedestres” (Kolbe et al., 2021, cap. 8.11.1.10, tradução nossa).

#### 4.1.16 Laje

No IFC, “uma laje é um componente da construção que normalmente limita um espaço vertical. A laje pode servir de suporte inferior (piso) ou de construção

superior (laje de cobertura) em qualquer espaço de uma edificação” (Buildingsmart, 2020, tradução nossa). É representada pela classe *IfcSlab*. No *CityGML*, é representada pela classe *BuildingConstructiveElement* (Kolbe et al., 2021).

#### 4.1.17 Viga

No IFC, a classe *IfcBeam* representa um “membro estrutural horizontal ou quase horizontal que é capaz de suportar carga principalmente por resistir à flexão. Tal membro é representado do ponto de vista arquitetônico” (Buildingsmart, 2020, tradução nossa). Não é necessário suportar carga. No *CityGML*, as vigas são também representadas pela classe *BuildingConstructiveElement* (Kolbe et al., 2021).

#### 4.1.18 Fachada

As paredes externas, no IFC, são representadas pela classe *IfcWall*, assim como as internas. O *CityGML* faz esta dissociação, representando as externas pela classe *WallSurface* (Kolbe et al., 2021).

#### 4.1.19 Elevador

Os elevadores, no IFC, são representados pela classe *IfcTransportElement*. No *CityGML*, não há uma classe específica para elevadores, podendo esses ser representados pela classe *BuildingPart*.

#### 4.1.20 Andar

A classe *IfcBuildingStorey* “normalmente representa uma agregação (quase) horizontal de espaços que são verticalmente limitados” (Buildingsmart, 2020, tradução nossa). No *CityGML*, a classe *BuildingUnit* é uma “subdivisão lógica de uma edificação, formada de acordo com alguma propriedade homogênea como função, propriedade, gerenciamento ou acessibilidade” (Kolbe et al., 2021, cap. 8.17.1.9, tradução nossa).

#### 4.1.21 Saída/Entrada de ar

No IFC, as saídas dos dutos são representadas pela classe *IfcFlowTerminal*, que representa a “ocorrência de um elemento permanentemente anexado que atua como terminal ou início de um sistema de distribuição (por exemplo, saída de ar, dreno, vaso sanitário, pia, etc.). É normalmente um ponto no qual um sistema faz interface com um ambiente externo” (Buildingsmart, 2020, tradução nossa).

Os segmentos de dutos, no IFC, são representados pela classe *IfcDuctSegment*. que define um “elemento normalmente usado para unir duas seções da rede de dutos”. São definidos quatro tipos de segmentos de dutos: *FLEXIBLESEGMENT* (flexível), *RIGIDSEGMENT* (rígido), *USERDEFINED* (definido pelo usuário), *NOTDEFINED* (não definido) (Buildingsmart, 2020, cap. 7.4.3.27.1, tradução nossa). No *CityGML*, não existem classes específicas para saídas/entradas de ar e dutos.

#### 4.1.22 Luminária de emergência

As luminárias de emergência pertencem à classe *IfcLightFixtureType*, que possui o tipo *SECURITYLIGHTING*. Esse tipo corresponde à uma “luminária com finalidade específica de direcionar os ocupantes em uma emergência, como um sinal de saída iluminado ou um holofote de emergência” (Buildingsmart, 2020, cap. 7.4.3.29.1, tradução nossa). No *CityGML*, não existem classes específicas para as luminárias de emergência.

#### 4.1.23 Placa de sinalização de emergência

As placas de sinalização são definidas pela classe *IfcSign*, que representa avisos exibidos que fornecem informações ou instruções de forma escrita, simbólica ou outra. Os tipos de placas representados pela classe *IfcSign* são: *MARKER*, *MIRROR*, *PICTORAL*, *USERDEFINED* e *NOTDEFINED*. O tipo que melhor representa as placas de sinalização de emergência é o *PICTORAL*, “um tipo de sinal formado por uma placa plana com algumas imagens escritas ou simbólicas” (Buildingsmart, 2020, cap. 6.6.3.15.2, tradução nossa). O *CityGML* não possui classe para esse objeto.

#### 4.1.24 Extintor

Os extintores são elementos que não possuem classe no IFC. No UCM foram mapeados na classe *FireExtinguisher*. No *CityGML* não há classe para esse objeto.

#### 4.1.25 Acionador de alarme

Para os acionadores, no IFC, é utilizada a classe *IfcAlarm*, dos tipos *BREAKGLASSBUTTON* (acionador cujo mecanismo envolve a quebra de vidro de proteção) e *MANUALPULLBOX* (acionador manual por meio de alavanca) (Buildingsmart, 2020). O *CityGML* não possui classe para esse objeto.

#### 4.1.26 Avisador de alarme

Para os avisadores, no IFC, é utilizada a classe *IfcAlarm*, dos tipos *BELL*, *SIREN* e *WHISTLE* (avisadores sonoros) e *LIGHT* (avisador visual) (Buildingsmart, 2020). O *CityGML* não possui classe para esse objeto.

#### 4.1.27 Detector de fumaça

O IFC possui a classe *IfcSensor*, que define um tipo específico de sensor que é usado para detecção em um sistema de controle. O tipo *SMOKESENSOR* representa os detectores de fumaça, cuja localização é armazenada de maneira similar aos demais elementos do IFC (Buildingsmart, 2020). O *CityGML* não possui classe para esse objeto.

#### 4.1.28 Hidrante

A classe que representa os hidrantes, no IFC, é *IfcFireSuppressionTerminal*. O dispositivo, montado numa tubulação, através do qual pode ser fornecido um abastecimento temporário de água, é definido pelo tipo *FIREHYDRANT* (Buildingsmart, 2020). O *CityGML* não possui classe para esse objeto.

#### 4.1.29 Tubulação de Incêndio

A classe *IfcPipeSegment*, é usada para representar o “segmento que une duas seções de uma rede de tubulação” (Buildingsmart, 2020, cap. 7.5.3.51, tradução nossa). O *CityGML* não possui classe para esse objeto.

#### 4.1.30 Bomba de incêndio

No IFC, a bomba é representada pela classe *IfcPump*, que define um “dispositivo que transmite trabalho mecânico a fluidos para movê-los através de um canal ou tubulação” (Buildingsmart, 2020, cap. 7.5.3.53, tradução nossa). O *CityGML* não possui classe para esse objeto.

#### 4.1.31 Registro de recalque

Os registros são representados no IFC pela classe *IfcValve*, que define dispositivos “usados em um sistema de distribuição de tubulação de serviços prediais para controlar ou modular o fluxo do fluido” (Buildingsmart, 2020, cap. 7.5.3.63, tradução nossa). O *CityGML* não possui classe para esse objeto.

#### 4.1.32 Registro dos chuveiros automáticos

Assim como os registros de recalque, são também representados pela classe *IfcValve*. O *CityGML* não possui classe para esse objeto.

### 4.2 COMPATIBILIZAÇÃO GEOMÉTRICA

Cada objeto IFC a ser representado no modelo teve seu LoD definido, que foi alinhado ao LOD do *CityGML*, conforme apresentado no Quadro 9. Quando as janelas necessitam ser representadas, por exemplo, o LOD mínimo externo do *CityGML* é 3, pois são necessárias as aberturas. Internamente não são necessários detalhes, portanto um LOD 0 poderia ser aceito. Já, caso as salas tenham representação fundamental no modelo do *CityGML*, o LOD externo pode ser 1, pois não há necessidade de detalhes; internamente, é preciso que haja divisões, portanto o LOD

3 é recomendado. No IFC, o LOD será 300 pela necessidade de medidas confiáveis dos elementos.

QUADRO 9 – NÍVEIS DE DETALHE - continua

<b>OBJETO</b>	<b>LOD IFC</b>	<b>LOD CITYGML EXTERNO</b>	<b>LOD CITYGML INTERNO</b>
Janela	200	3	3
Sala	300	1	3
Edificação	300	2	0
Abertura	300	3	3
Reservatório	300	2	3
Escada	300	3	3
Corredor	300	1	3
Porta	400	3	3
Corrimão	300	1	3
Portão	300	3	0
Piso	300	1	3
Parede	300	3	3
Forro	300	1	3
Cobertura	300	3	0
Via	-	1	-
Laje	300	1	3
Viga	300	1	3
Fachada	300	1	0
Elevador	300	1	3
Andar	200	1	3
Saída/Entrada de ar	300	1	-
Luminária de emergência	350	1	-
Placa de sinalização de emergência	300	1	-
Extintor	300	1	-

QUADRO 9 – NÍVEIS DE DETALHE - conclusão

Acionador de alarme	300	1	-
Avisador de alarme	300	1	-
Detector de fumaça	200	1	-
Hidrante	400	1	-
Tubulação de incêndio	300	1	-
Bomba de incêndio	400	1	-
Registro de recalque	200	1	-
Registro dos chuveiros automáticos	200	1	-

FONTE: A Autora (2024)

Os LoD's do BIM representam o detalhamento mínimo do modelo IFC para fornecer informação ao *CityGML*. A razão de sua determinação seria verificar se a utilização desses dados é adequada, ou seja, se estes fornecerão medidas confiáveis. O LOD do *CityGML*, por sua vez, é determinado com o intuito de saber o quão detalhado deverá ser o modelo 3D do campus. A documentação do *CityGML*, na versão 3.0, permite a utilização de LOD's distintos externa e internamente, mas não há um detalhamento sobre quais os objetos devem ser representados em cada LOD interno. Nesse trabalho, o detalhamento de classes de objetos internos foram todos considerados como LOD 3.

Com relação às classes do UCM *RoadSegment* e *Building*, que são derivadas da ET-EDGV, os Quadros 10 e 11 apresentam quais as dimensões mínimas de representação de área e de largura, para cada escala. São apresentados também em quais LOD's do *CityGML* cada escala pode ser representada e se isso ocorre por meio de linha, área, ambos ou nenhum. Para a escala 1:1000, por exemplo, a mínima dimensão a ser mapeada, para um objeto da classe *RoadSegment*, seria uma área de 12,5m<sup>2</sup> e um comprimento de 10m. Um objeto com essas dimensões, seria representando no *CityGML* apenas como uma linha, nos LOD's 1 e 2. No LOD3, poderia ser representado por meio de área. As edificações, por sua vez, começam a ser mapeadas no *CityGML* a partir da escala 1:10.000, no LOD3.

QUADRO 10 – DIMENSÕES MÍNIMAS DE REPRESENTAÇÃO DE ÁREA E LARGURA

<i>RoadSegment</i>					
Escalas	1000	10000	25000	50000	100000
Área mínima (m <sup>2</sup> )	12,5	125	312,5	625	1250
Dimensão mínima (m)	10	100	250	500	1000
LOD1	Linha	Ambos	Ambos	Ambos	Ambos
LOD2	Linha	Ambos	Ambos	Ambos	Ambos
LOD3	Ambos	Ambos	Ambos	Ambos	Ambos

FONTE: A Autora (2024)

QUADRO 11 - DIMENSÕES MÍNIMAS DE REPRESENTAÇÃO DE ÁREA E LARGURA

<i>Building</i>					
Escalas	1000	10.000	25.000	50.000	100.000
Área mínima (m <sup>2</sup> )	1	10	25	50	100
Dimensão mínima (m)	-	-	-	-	-
LOD1	Nenhum	Nenhum	Nenhum	Área	Ambos
LOD2	Nenhum	Nenhum	Área	Área	Ambos
LOD3	Nenhum	Área	Área	Área	Ambos

FONTE: A Autora (2024)

As classes *Room* e *Corridor* não pertencem à ET-EDGV, mas como são classes que pertencem ao IFC e que já tiveram sua análise conduzida nessa seção, não foram abordadas novamente.

As classes *FireExtinguisher*, *FireHydrant* e *AlarmTrigger* não são derivadas da ET-EDGV e não possuem classe correspondente no *CityGML*, sendo abordadas na ADE, no item 4.4

### 4.3 COMPATIBILIZAÇÃO SEMÂNTICA

No Quadro 12, estão apresentados os atributos definidos para cada objeto.

QUADRO 12 – ATRIBUTOS PARA CADA OBJETO – continua

<b>OBJETOS DO MUNDO REAL</b>	<b>ATRIBUTOS</b>
Janela	Localização
Sala	Altura População Área

QUADRO 13 – ATRIBUTOS PARA CADA OBJETO – conclusão

Edificação	<p>Altura</p> <p>Presença de brigada de incêndio</p> <p>Distância até a edificação mais próxima</p> <p>Localização</p> <p>Endereço</p> <p>Zoneamento</p> <p>Tipo</p> <p>Ocupação</p> <p>Horário de funcionamento</p> <p>Presença de PNE</p> <p>Carga de incêndio</p> <p>Distância ao corpo de bombeiros</p>
Abertura	<p>Localização</p> <p>Área</p>
Reservatório	<p>Localização</p> <p>Volume</p>
Escada	<p>Largura</p> <p>Material</p> <p>Altura dos degraus</p> <p>Pé-direito da escada</p> <p>Comprimento dos patamares</p> <p>Comprimento da antecâmara da escada enclausurada</p> <p>Pé-direito da antecâmara da escada enclausurada</p>
Corredor	Largura
Porta	<p>Largura</p> <p>Altura</p> <p>Sentido de abertura</p> <p>Operação</p> <p>Material</p> <p>Porta corta-fogo</p> <p>Barra antipânico</p>
Corrimão	Altura
Portão	Largura
	Altura
Piso	Material
Parede	Material
Forro	Material
Cobertura	Material

FONTE: A autora (2024)

O alinhamento dos atributos, para cada objeto, é apresentado na sequência.

## 4.3.1 Janela

QUADRO 13 – ANÁLISE DO OBJETO JANELA

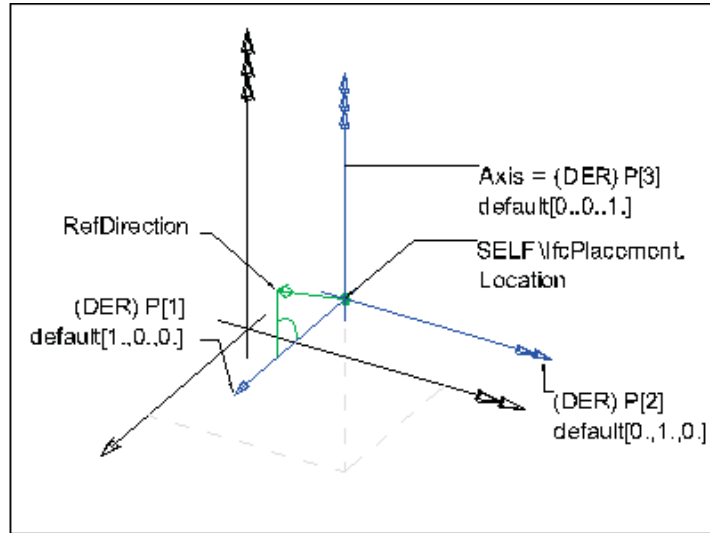
Objeto		Janela		
Atributo		Localização		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<b>CityGML</b>	<i>Window</i>	-	<i>DirectPosition</i> (ISO 19107:2003)	<i>coordinate:Sequence &lt;number&gt; [1..1]</i>
<b>IFC</b>	<i>IfcWindow</i>	-	<i>IfcLocalPlacement</i>	<i>RelativePlacement :IfcAxis2Placement</i>

FONTE: A Autora (2024)

Os dados referentes à localização e altura de elementos são armazenados no IFC por meio da classe *IfcLocalPlacement*, que define o posicionamento relativo desse elemento em relação a outro ou seu posicionamento absoluto no contexto da representação geométrica do projeto. Para o caso de portas, janelas e aberturas, esses devem ter posicionamento relativo ao elemento ao qual estão relacionadas, como uma parede, por exemplo. Os atributos da classe *IfcLocalPlacement* são *PlacementRelTo* e *RelativePlacement*. *PlacementRelTo* faz referência ao elemento que fornece o posicionamento relativo por seu sistema de coordenadas local. Se for omitido, então a localização é dada pelo sistema de coordenadas universal (WCS), estabelecida pelo contexto de representação geométrica. *RelativePlacement* é o posicionamento geométrico que define a transformação do sistema de coordenadas entre o elemento de referência e o elemento relacionado. O posicionamento pode ser 2D ou 3D, dependendo do número de dimensões do sistema de coordenadas. Esse atributo está relacionado à classe *IfcAxis2Placement*, que armazena a localização e orientação de elementos no espaço tridimensional de três eixos perpendiculares entre si, por meio da classe derivada *IfcAxis2Placement3D*. Essa classe tem como atributos *Axis* (direção exata do eixo local Z), *RefDirection* (direção do eixo X local) e *P* (direções normalizadas do posicionamento dos eixos), demonstrados na Figura 26 (BuildingSMART, 2020). No *CityGML*, a classe *DirectPosition*, que pertence à ISO 19107:2003 (modelo espacial de informação geográfica), contém as coordenadas de

uma posição dentro de um sistema de referência de coordenadas. Está associada à classe CRS (*coordinate reference system*) e seus atributos são *coordinate* e *dimension* (Kolbe et al., 2021).

FIGURA 26- ATRIBUTOS DA CLASSE *IfcAxis2Placement3D*



FONTE: Buildingsmart (2020).

### 4.3.2 Sala

QUADRO 14 – ANÁLISE DO OBJETO SALA - continua

Objeto		Sala		
Atributo		Altura		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<b>CityGML</b>	<i>BuildingRoom</i>	<i>RoomHeight</i>	-	-
<b>IFC</b>	<i>IfcSpace</i>	-	<i>Qto_BuildingBase Quantities</i>	<i>Height: Q_LENGTH</i>
Atributo		População		

QUADRO 14 – ANÁLISE DO OBJETO SALA – conclusão

	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<b>CityGML</b>	<i>BuildingRoom</i>	-	-	-
<b>UCM</b>	<i>Sala</i>	capacidade	-	-
Atributo		Área		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<b>CityGML</b>	<i>BuildingRoom</i>	<i>area:QualifiedArea</i> [0..*]	-	-
<b>IFC</b>	<i>IfcSpace</i>	-	<i>Pset_SpaceCommon</i>	<i>NetPlannedArea:IfcAreaMeasure</i>

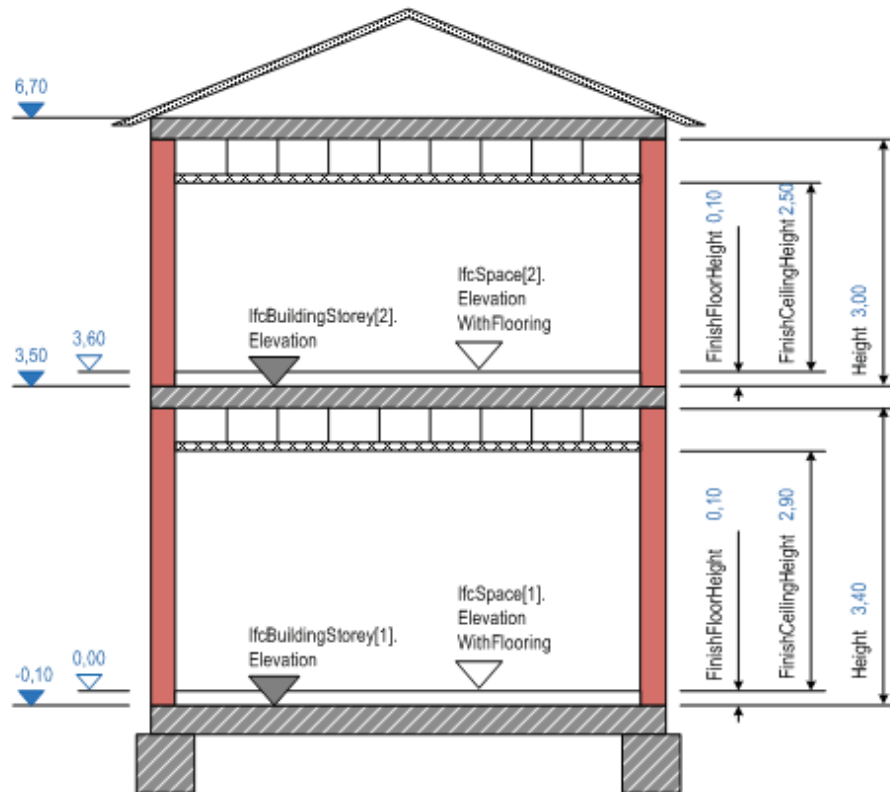
FONTE: A Autora (2024)

No *CityGML*, existe a classe *RoomHeight*, que representa uma distância vertical (medida ou estimada) entre uma referência abaixo e uma referência acima (Kolbe et al., 2021). No IFC, o pé direito das salas pode ser representado pela altura *FinishCeilingHeight*, que compreende a altura do piso acabado até o forro (Buildingsmart, 2024). As alturas associadas a *IfcSpace* são demonstradas na Figura 27.

A população por sala está contemplada na classe *Sala*, do UCM, no atributo capacidade. Essa classe é associada à cada ambiente. No *CityGML*, a capacidade por ambiente não possui atributo, pois a classe *Occupancy*, que representa a população, não está associada à classe *Room*, ou *AbstractSpace* (Kolbe et al., 2021). Ela está associada somente às classes *Building* e *BuildingUnit*, portanto é possível armazenar somente o número de pessoas por andar ou na edificação inteira.

As propriedades das quantidades relativas ao *IfcSpace* são definidas pelo conjunto *Pset\_SpaceCommon*. A área útil da sala é definida pela propriedade *NetPlannedArea*. Seu valor é do tipo *IfcAreaMeasure*, classe que compreende o valor de extensão de uma superfície, cujo domínio são os números reais (Buildingsmart, 2024). Uma sala, no *CityGML* é definida pela classe *BuildingRoom*. A área dessa classe é representada pelo atributo *area*, definido pelo domínio *QualifiedArea[0..\*]*, que compreende o valor e o tipo da área (Kolbe et al., 2021).

FIGURA 27 – ALTURAS RELACIONADAS À CLASSE *IfcSpace*



FONTE: Buildingmart (2024).

### 4.3.3 Edificação

QUADRO 15 – ANÁLISE DO OBJETO EDIFICAÇÃO – continua

Objeto		Edificação		
Atributo		Altura		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
CityGML	<i>AbstractBuilding</i>	<i>height:Height[0..*]</i>	-	-
IFC	<i>IfcBuilding</i>	-	<i>Height: Q_LENGTH</i>	<i>Height: Q_LENGTH</i>
Atributo		Presença de brigada de incêndio		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
CityGML	<i>AbstractBuilding</i>	-	-	-
IFC	<i>IfcBuilding</i>	-	-	-
Atributo		Distância até a edificação mais próxima		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
CityGML	<i>AbstractBuilding</i>	-	-	-
IFC	<i>IfcBuilding</i>	-	-	-

QUADRO 15 – ANÁLISE DO OBJETO EDIFICAÇÃO– continua

Atributo		Localização		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
CityG ML	AbstractBuilding	-	DirectPosition (ISO 19107:2003)	coordinate:Sequence <number> [1..1]
IFC	IfcBuilding	-	IfcLocalPlacement	RelativePlacement:IfcAxis2Placement
Atributo		Endereço		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
CityG ML	AbstractBuilding	address	-	-
IFC	IfcBuilding	-	Pset_BuildingUseAdjacent	PlanningControlStatus
Atributo		Tipo		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
CityG ML	AbstractBuilding	class:BuildingClassValue[0..1]	-	-
IFC	IfcBuilding	-	Pset_BuildingCommon	ConstructionMethod:IfcLabel
Atributo		Ocupação		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
CityG ML	AbstractBuilding	function:BuildingFunctionValue[0..1]	-	-
IFC	IfcBuilding	-	Pset_BuildingUse	MarketCategory:IfcLabel
Atributo		Horário de funcionamento		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
CityG ML	AbstractBuilding	function:BuildingFunctionValue[0..1]	-	-
IFC	IfcBuilding	-	-	-
Atributo		Presença de PNE		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
CityG ML	AbstractBuilding	-	-	-
IFC	IfcBuilding	-	-	-

QUADRO 15 – ANÁLISE DO OBJETO EDIFICAÇÃO– conclusão

Atributo		Carga de incêndio		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	<i>AbstractBuilding</i>	-	-	-
<i>IFC</i>	<i>IfcBuilding</i>	-	-	-
Atributo		Distância ao corpo de bombeiros		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	<i>AbstractBuilding</i>	-	-	-
<i>IFC</i>	<i>IfcBuilding</i>	-	-	-

FONTE: A Autora (2024)

A altura de uma edificação, no IFC, é definida como a propriedade *TotalHeight* que compreende a altura total do edifício, medida desde o nível do terreno até a parte superior do edifício. Essa propriedade é definida pela classe *IfcQuantityLength*, que define uma medida de comprimento derivada para fornecer a propriedade física de um elemento. *IfcQuantityLength* possui um atributo, *LengthValue*, que representa a medida do comprimento e é definido pelo domínio *IfcLengthMeasure*, que compreende os números reais (Buildingsmart, 2024). No *CityGML*, a altura da edificação é alocada no atributo *height*, da classe *AbstractConstruction*. Esse atributo especifica a altura da construção acima ou abaixo do solo e é definido pelo domínio *Height*, que representa uma distância vertical medida entre dois níveis de referência (Kolbe et al., 2021).

A presença de brigada de incêndio não é um atributo presente nos formatos *CityGML* e IFC. A distância até a edificação mais próxima pode ser medida no arquivo vetorial, no entanto, não está armazenada como um atributo no modelo conceitual do *CampusMap*. No *CityGML* também não há esse atributo.

A localização da edificação, no IFC e no *CityGML*, ocorre de maneira similar às janelas. O endereço da edificação, no IFC, é a propriedade *AddressLines*, do conjunto *Pset\_Address*, da classe *IfcBuilding* (Buildingsmart, 2024). No *CityGML*, é armazenado no atributo *address*, da classe *AbstractBuilding* (Kolbe et al., 2021).

O zoneamento da edificação, no IFC, está armazenado na propriedade *PlanningControlStatus*, do conjunto *Pset\_BuildingUseAdjacent*, relacionado à classe *IfcBuilding* (Buildingsmart, 2024). No *CityGML*, o zoneamento é relacionado à classe superfície temática, no módulo *LandUse*, que não é associada à edificação (Kolbe et al., 2021). A classe *AbstractBuilding* não possui atributo para esse dado.

O tipo da edificação, conforme a NPT 016 – Plano de emergência contra incêndio, se refere ao método de construção da edificação, como alvenaria, concreto, metálica, madeira etc. No *CityGML* o atributo *class*, da classe *AbstractBuilding* pode armazenar esses valores e no IFC, o atributo *ConstructionMethod*, do conjunto *Pset\_BuildingCommon* (Buildingsmart, 2020; Kolbe et al., 2021).

O atributo ocupação, conforme a NPT 016, se refere ao uso da edificação (industrial, comercial, residencial, escolar, etc). O *CityGML* usa o atributo *function* para armazenar esse atributo (Groger et al., 2012). O IFC armazena essa informação no atributo *MarketCategory*, do conjunto *Pset\_BuildingUse* (Buildingsmart, 2024).

O horário de funcionamento, a presença de portadores de necessidades especiais (PNE) e a carga de incêndio não são atributos presentes nos formatos *CityGML* e IFC. A distância até o corpo de bombeiros envolve dados externos ao campus e pode ser obtida por meio de mapa da região.

#### 4.3.4 Abertura

QUADRO 16 – ANÁLISE DO OBJETO ABERTURA

Objeto		Abertura		
Atributo		Localização		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<b>CityGML</b>	<i>AbstractFillingElement</i>	-	<i>DirectPosition (ISO 19107:2003)</i>	<i>coordinate:Sequence &lt;number&gt; [1..1]</i>
<b>IFC</b>	<i>IfcOpeningElement</i>	-	<i>IfcLocalPlacement</i>	<i>RelativePlacement: IfcAxis2Placement</i>
Atributo		Área		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<b>CityGML</b>	<i>AbstractFillingElement</i>	<i>area:QualifiedArea[0..*]</i>	-	-
<b>IFC</b>	<i>IfcOpeningElement</i>	<i>NominalArea</i>	-	-

FONTE: A Autora (2024)

A localização das aberturas, no IFC e no *CityGML*, ocorre de maneira similar às janelas.

A classe *IfcOpeningElement* possui o atributo *NominalArea*, cujo domínio é a classe *IfcQuantityArea*, para armazenar a área das aberturas (Buildingsmart, 2024). No *CityGML*, pode haver duas situações: se a abertura tiver um elemento que a preencha, como porta ou janela, é utilizada a classe *AbstractFillingElement*. No caso de a abertura não ser preenchida, pode-se utilizar a classe *AbstractUnoccupiedSpace*. Ambas são derivadas da classe *AbstractSpace*, cujo atributo *area* armazena a área das aberturas no domínio *QualifiedArea [0..\*]* (Kolbe et al., 2021).

#### 4.3.5 Reservatório

QUADRO 17 – ANÁLISE DO OBJETO RESERVATÓRIO

Objeto		Reservatório		
Atributo		Localização		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<b>CityGML</b>	<i>BuildingConstructiveElement</i>	-	<i>DirectPosition</i> (ISO 19107:2003)	<i>coordinate:Sequence &lt;number&gt; [1..1]</i>
<b>IFC</b>	<i>IfcTank</i>	-	<i>IfcLocalPlacement</i>	<i>RelativePlacement:IfcAxis2Placement</i>
Atributo		Volume		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<b>CityGML</b>	<i>BuildingConstructiveElement</i>	<i>volume:QualifiedVolume [0..*]</i>	-	-
<b>IFC</b>	<i>IfcTank</i>	-	<i>NominalCapacity:IfcVolumeMeasure</i>	<i>Pset_TankTypeCommon</i>

FONTE: A Autora (2024)

A localização dos reservatórios, no IFC e no *CityGML*, ocorre de maneira similar às janelas.

O volume é representado no IFC pelo conjunto de propriedades *Pset\_TankTypeCommon.NominalCapacity* é a propriedade, definida pelo domínio representado pela classe *IfcVolumeMeasure* (Buildingsmart, 2024). No *CityGML*, o atributo volume, da classe *AbstractSpace*, representado pelo domínio *QualifiedVolume[0..\*]*, armazena o volume de elementos. *BuildingConstructiveElement* é uma subclasse que herda atributos de *AbstractSpace*, como esse (Kolbe et al., 2021).

#### 4.3.6 Escada

QUADRO 18 – ANÁLISE DO OBJETO ESCADA – continua

Objeto		Escada		
Atributo		Largura		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<b>CityGML</b>	<i>BuildingInstallation</i>	-	<i>GM_MultiCurve</i>	<i>length</i>
<b>IFC</b>	<i>IfcStair</i>	-	<i>Pset_StairCommon</i>	<i>WalkingLineOffset</i> <i>IfcPositiveLengthMeasure</i>
Atributo		Material		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<b>CityGML</b>	<i>BuildingInstallation</i>	-	<i>X3DMaterial</i>	-
<b>IFC</b>	<i>IfcCovering</i>	-	<i>IfcRelAssociatesMaterial</i>	<i>RelatingMaterial:IfcMaterialSelect</i>
Atributo		Altura dos degraus		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<b>CityGML</b>	<i>BuildingInstallation</i>	-	<i>GM_MultiCurve</i>	<i>Length</i>
<b>IFC</b>	<i>IfcStair</i>	-	<i>Pset_StairCommon</i>	<i>RiserHeight</i>
Atributo		Pé-direito		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<b>CityGML</b>	<i>BuildingInstallation</i>	-	<i>GM_MultiCurve</i>	<i>length</i>
<b>IFC</b>	<i>IfcStair</i>	-	<i>Pset_StairCommon</i>	<i>RequiredHeadroom</i>

QUADRO 19 – ANÁLISE DO OBJETO ESCADA – conclusão

Atributo		Comprimento dos patamares		
Classe Objeto		Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<b>CityG ML</b>	<i>BuildingConstructiveElement</i>	-	<i>GM_MultiCurve</i>	<i>length</i>
<b>IFC</b>	<i>IfcSlab</i>	-	<i>Qto_SlabBaseQuantities</i>	<i>Depth</i>
Atributo		Comprimento da antecâmara da escada enclausurada		
Classe Objeto		Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<b>CityG ML</b>	<i>BuildingInstallation</i>	-	<i>GM_MultiCurve</i>	<i>Length</i>
<b>IFC</b>	<i>IfcSpace</i>	-	<i>IfcQuantityLength</i>	<i>LengthValue:IfcLengthValueMeasure(Real)</i>
Atributo		Pé-direito da antecâmara da escada enclausurada		
Classe Objeto		Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<b>CityG ML</b>	<i>BuildingRoom</i>	<i>RoomHeight</i>	-	-
<b>IFC</b>	<i>IfcSpace</i>	<i>Qto_BuildingBaseQuantities</i>	-	<i>Height: Q_LENGTH</i>

FONTE: A Autora (2024)

A classe *IfcStair* possui o conjunto de propriedades *Pset\_StairCommon*, no qual a propriedade *WalkingLineOffset* representa a largura da escada (Buildingsmart, 2024). No *CityGML*, as escadas são representadas também pela classe *BuildingInstallation*. Essa classe é derivada da classe *AbstractOccupiedSpace*, que está associada às classes de geometria oriundas da ISO 19107:2003, que especifica modelos conceituais para descrever características espaciais de feições geográficas. Um *AbstractOccupiedSpace* é um espaço ocupado delimitado por multicurvas, representadas pela classe *GM\_MultiCurve*, cujo atributo *length* representa o comprimento da curva (Kolbe et al., 2021).

Conforme a NPT 010, o controle de materiais de acabamento e revestimento (CMAR) destina-se a estabelecer padrões para o não surgimento de condições propícias do crescimento e da propagação de incêndios, bem como da geração de fumaça. A NPT dispõe que

material de revestimento é todo material ou conjunto de materiais empregados nas superfícies dos elementos construtivos das edificações, tanto nos ambientes internos como nos externos, com finalidades de atribuir características estéticas, de conforto, de durabilidade etc. Incluem-se como material de revestimento, os pisos, forros e as proteções térmicas dos elementos estruturais. Material de acabamento é todo material ou conjunto de materiais utilizados como arremates entre elementos construtivos

(rodapés, mata-juntas, golas etc.)” e material termoacústico é “todo material ou conjunto de materiais utilizados para isolamento térmica e/ou acústica (Paraná, 2014, p. 2).

O CMAR deve ser exigido, em razão da ocupação da edificação e em função da posição dos materiais de acabamento, materiais de revestimento e materiais termoacústicos referentes a piso, paredes/divisórias, teto/forro e cobertura. As classes dos materiais devem ser indicadas em projeto (Paraná, 2014).

A classe *IfcCovering* pode ser usada para representar o revestimento da escada. Essa classe está associada à classe *IfcRelAssociatesMaterial*, que relaciona os materiais aos elementos aos quais se aplicam. A classe pode definir um, mais de um ou um conjunto de camadas de materiais (Buildingsmart, 2020).

No modelo conceitual do *CityGML*, os dados a respeito de materiais de construção dos elementos estão alocados na classe *X3DMaterial*, do módulo *Appearance*. Os dados de superfície de um elemento são modelados como material com base nas definições dos padrões *X3D* e *COLLADA*. Os atributos dessa classe são propriedades de representação gráfica dos materiais que não são relevantes para o PTPID, como brilho, transparência, intensidade (Kolbe et al., 2021). Por esse motivo, na ADE foi definida uma classe para os materiais, que considera o disposto na NPT 010.

A classe *IfcStair* possui a propriedade *RiserHeight*, no conjunto *Pset\_StairCommon* (Buildingsmart, 2024). No *CityGML*, as escadas são representadas também pela classe *BuildingInstallation*. Sua geometria é associada à classe *GM\_Multicurve*, o que já foi abordado anteriormente.

A classe *IfcStair* possui a propriedade *RequiredHeadRoom*, no conjunto *Pset\_StairCommon* (Buildingsmart, 2024). Como no *CityGML* a geometria está associada à escada, o pé-direito não é representado pela classe *BuildingInstallation*, também não é representado pela altura da classe *AbstractSpace*, pois esse seria o pé-direito do ambiente, e não da escada. Não há, portanto, atributo que represente esse dado. Os patamares são representados no IFC pela classe *IfcSlab*, que possui quatro tipos: *FLOOR* (laje de piso), *ROOF* (laje de teto), *LANDING* (patamar) e *BASESLAB* (radier). O conjunto de quantidades base comuns à definição de todas as ocorrências de lajes é o *Qto\_SlabBaseQuantities*, que possui a propriedade *Depth* (Buildingsmart, 2024). No *CityGML*, o patamar é também representado pela classe *BuildingConstructiveElement*, derivada da classe *AbstractOccupiedSpace*, associada

à classe *GM\_MultiCurve*, cujo atributo *length* representa o comprimento da curva, conforme mencionado anteriormente (Kolbe et al., 2021).

A antecâmara das escadas enclausuradas pode ser representada no IFC pela classe *IfcSpace*. Seu comprimento é armazenado no atributo *LengthValue*, da classe *IfcQuantityLength*, associada à classe *IfcSpace* (Buildingsmart, 2024). No *CityGML*, as antecâmaras podem ser representadas pela classe *BuildingInstallation*, classe que possui a geometria representada pela classe *GM\_MultiCurve*, e pelo atributo *length* (Kolbe et al., 2021).

O pé-direito da antecâmara, pode ser representado de maneira análoga à altura das salas.

#### 4.3.7 Corredor

QUADRO 19 – ANÁLISE DO OBJETO CORREDOR

Objeto		Corredor		
Atributo		Largura		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Especifica	Atributo Específico
<b>CityGML</b>	<i>BuildingInstallation</i>	-	<i>GM_MultiCurve</i>	<i>length</i>
<b>IFC</b>	<i>IfcSpace</i>	-	<i>IfcQuantityLength</i>	<i>LengthValue:IfcLengthValueMeasure(Real)</i>

FONTE: A Autora (2024)

A classe *IfcSpace* está associada à classe *IfcQuantityLength*, na qual o atributo *LengthValue* representa a largura do corredor (Buildingsmart, 2024). No *CityGML*, as escadas são representadas também pela classe *BuildingInstallation*. Essa classe é derivada da classe *AbstractOccupiedSpace*, que está associada às classes de geometria oriundas da ISO 19107:2003, que especifica modelos conceituais para descrever características espaciais de feições geográficas. Um *AbstractOccupiedSpace* é um espaço ocupado delimitado por “multicurvas”, representadas pela classe *GM\_MultiCurve*, cujo atributo *length* representa o comprimento da curva (Kolbe et al., 2021).

## 4.3.8 Porta

QUADRO 20 – ANÁLISE DO OBJETO PORTA - continua

Objeto		Porta		
Atributo		Largura		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
CityGML	Door	-	GM_MultiCurve	length
IFC	IfcDoor	OverallWidth	-	-
Atributo		Altura		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
CityGML	Door	-	GM_MultiCurve	length
IFC	IfcDoor	OverallHeight	-	-
Atributo		Sentido de abertura		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
CityGML	Door	usage		
IFC	IfcDoorType	OperationType	-	-
Atributo		Operação		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
CityGML	Door	class		
IFC	IfcDoorType	OperationType	-	-
Atributo		Material		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
CityGML	Door	-	X3DMaterial	
IFC	IfcDoorType	-	IfcRelAssociatesMaterial	RelatingMaterial:IfcMaterialSelect
Atributo		Porta corta-fogo		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
CityGML	Door	-	-	-

QUADRO 20 – ANÁLISE DO OBJETO PORTA – conclusão

IFC	<i>IfcDoor</i>	-	-	-
<b>Atributo</b>		<b>Barra antipânico</b>		
	<b>Classe Objeto</b>	<b>Atributo Objeto</b>	<b>Classe Específica</b>	<b>Atributo Específico</b>
<i>CityGML</i>	<i>Door</i>	-	-	-
IFC	<i>IfcDoor</i>	-	-	-

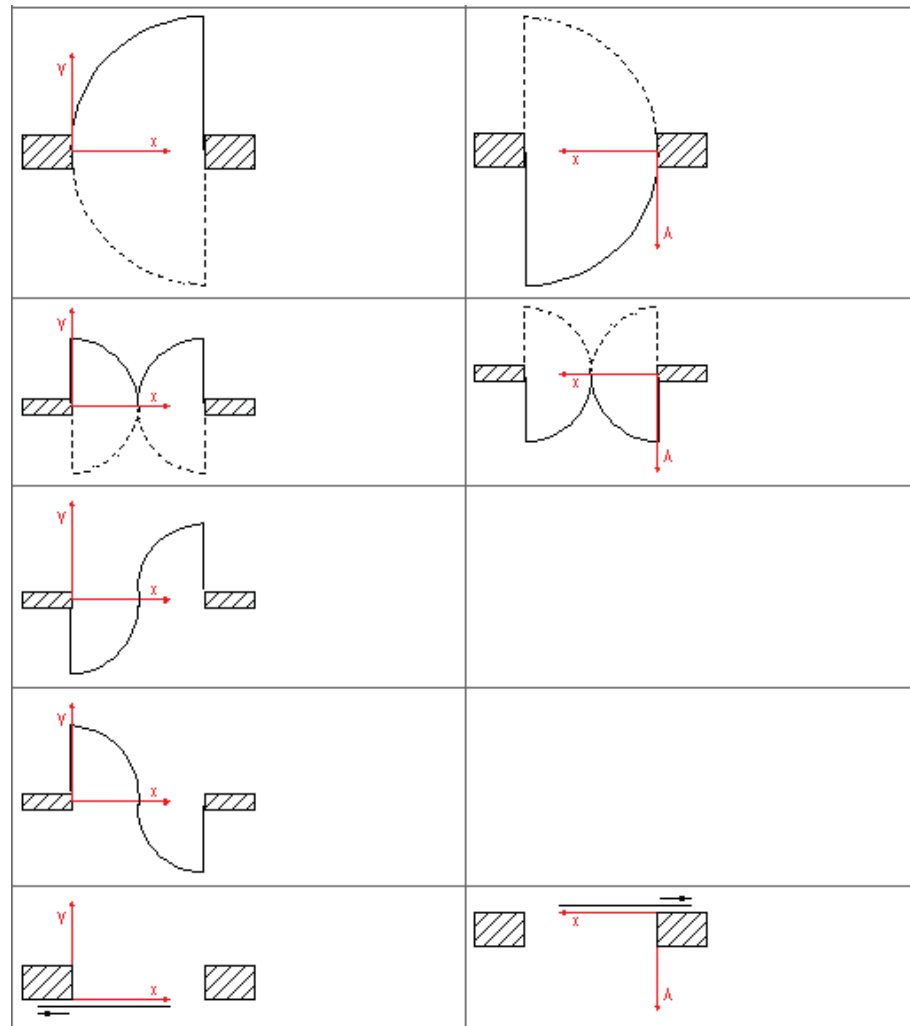
FONTE: A Autora (2024)

A largura da porta é armazenada no atributo *OverallWidth* da classe *IfcDoor* (Buildingsmart, 2024). No *CityGML*, podem ser representadas pelo atributo *length* da classe *GM\_Multicurve*, uma vez que a classe *Door* é derivada da classe *AbstractOccupiedSpace* (Kolbe et al., 2021). A altura da porta é armazenada no atributo *OverallHeight* da classe *IfcDoor* (Buildingsmart, 2024). A altura é representada da mesma forma que a largura.

A classe *IfcDoor* possui o atributo *OperationType*, que representa o sentido de abertura e também o tipo de operação (Buildingsmart, 2024). A Figura 28 mostra alguns tipos de operação que a classe permite.

A classe *Door* no *CityGML* possui o atributo *usage*, que representa o uso da porta, podendo ser usado nesse caso para o sentido de abertura (Kolbe et al., 2021). Conforme mencionado anteriormente, no IFC, o atributo *OperationType* representa também o tipo de operação (Buildingsmart, 2024). No *CityGML*, o atributo *class* da classe *Door* especifica qual o tipo de porta (Kolbe et al., 2021).

O material da porta pode ser definido de maneira análoga ao material da escada, no item 4.3.6. No IFC e no *CityGML* não há atributos que possam indicar se a porta é corta-fogo ou se possui barra antipânico.

FIGURA 28 – TIPOS DE OPERAÇÃO DA CLASSE *IfcDoor*

FONTE: (Buildingsmart, 2020).

#### 4.3.9 Corrimão

QUADRO 21 - ANÁLISE DO OBJETO CORRIMÃO

Objeto		Corrimão		
Atributo		Altura		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
<i>IFC</i>	<i>IfcRailing</i>	-	<i>Pset_RailingCommon</i>	<i>Height</i>

FONTE: A Autora (2024)

A altura do corrimão é dada pelo conjunto de propriedades *Pset\_RailingCommon*, que possui o atributo *Height* (Buildingsmart, 2024). No

*CityGML*, elementos não-estruturais, como corrimãos, hidrantes, extintores e tubulações não foram encaixados em nenhuma classe disponível.

#### 4.3.10 Portão

QUADRO 22 - ANÁLISE DO OBJETO PORTÃO

Objeto			Portão	
Atributo			Largura	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	<i>Door</i>	-	<i>GM_MultiCurve</i>	<i>length</i>
<i>IFC</i>	<i>IfcDoor</i>	<i>OverallWidth</i>	-	-
Atributo			Largura	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	<i>Door</i>	-	<i>GM_MultiCurve</i>	<i>length</i>
<i>IFC</i>	<i>IfcDoor</i>	<i>OverallHeight</i>	-	-

FONTE: A Autora (2024)

A largura e a altura do portão são representadas de forma análoga à porta.

#### 4.3.11 Piso

QUADRO 23 – ANÁLISE DO OBJETO PISO

Objeto			Piso	
Atributo			Material	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	<i>FloorSurface</i>	-	<i>X3DMaterial</i>	-
<i>IFC</i>	<i>IfcCovering</i>	-	<i>IfcRelAssociatesMaterial</i>	<i>RelatingMaterial:IfcMaterialSelect</i>

FONTE: A Autora (2024)

O material do piso pode ser definido de maneira análoga aos materiais dos itens já mencionados.

#### 4.3.12 Parede

QUADRO 24 – ANÁLISE DO OBJETO PAREDE

Objeto			Parede	
Atributo			Material	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Especifica	Atributo Específico
<b>CityGML</b>	<i>InteriorWallSurface</i>	-	<i>X3DMaterial</i>	-
<b>IFC</b>	<i>IfcWall</i>	-	<i>IfcRelAssociatesMaterial</i>	<i>RelatingMaterial:IfcMaterialSelect</i>

FONTE: A Autora (2024)

O material da parede pode ser definido de maneira análoga aos materiais dos itens já mencionados.

#### 4.3.13 Forro

QUADRO 25 – ANÁLISE DO OBJETO FORRO

Objeto			Forro	
Atributo			Material	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Especifica	Atributo Específico
<b>CityGML</b>	<i>CeilingSurface</i>	-	<i>X3DMaterial</i>	-
<b>IFC</b>	<i>IfcCovering</i>	-	<i>IfcRelAssociatesMaterial</i>	<i>RelatingMaterial:IfcMaterialSelect</i>

FONTE: A Autora (2024)

O material do forro pode ser definido de maneira análoga aos materiais dos itens já mencionados.

## 4.3.14 Cobertura

QUADRO 26 – ANÁLISE DO OBJETO COBERTURA

Objeto			Cobertura	
Atributo			Material	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	<i>RoofSurface</i>	-	<i>X3DMaterial</i>	-
<b>IFC</b>	<i>IfcCovering</i>	-	<i>IfcRelAssociatesMaterial</i>	<i>RelatingMaterial:IfcMaterialSelect</i>

FONTE: A Autora (2024)

O material da cobertura pode ser definido de maneira análoga aos materiais dos itens já mencionados.

## 4.3.15 Via

QUADRO 27 – ANÁLISE DO OBJETO VIA

Objeto			Via	
Atributo			Largura	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	<i>Road</i>	<i>Section</i>	-	-
<b>UCM</b>	<i>RoadSegment</i>	-	-	-
Atributo			Capacidade de carga	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	<i>Road</i>	-	-	-
<b>UCM</b>	<i>RoadSegment</i>	-	-	-
Atributo			Altura livre	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	<i>Road</i>	-	-	-
<b>UCM</b>	<i>RoadSegment</i>	-	-	-

FONTE: A Autora (2024)

A largura da via é representada no *CityGML* pelo atributo *section* da classe *Road*. No UCM, a classe *RoadSegment* não possui atributo para essa informação. A capacidade de carga e altura livre não são representadas por nenhum atributo nas classes *RoadSegment* e *Road*.

#### 4.3.16 Laje

QUADRO 28 - ANÁLISE DO OBJETO LAJE

Objeto			Laje	
Atributo			Material	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<b>CityGML</b>	<i>BuildingConstructiveElement</i>	-	<i>X3DMaterial</i>	-
<b>IFC</b>	<i>IfcSlab</i>	-	<i>IfcRelAssociatesMaterial</i>	<i>RelatingMaterial:IfcMaterialSelect</i>

FONTE: A Autora (2024)

O material das lajes pode ser definido de maneira análoga aos materiais dos itens já mencionados.

#### 4.3.17 Viga

QUADRO 29 – ANÁLISE DO OBJETO VIGA

Objeto			Viga	
Atributo			Material	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<b>CityGML</b>	<i>BuildingConstructiveElement</i>	-	<i>X3DMaterial</i>	-
<b>IFC</b>	<i>IfcBeam</i>	-	<i>IfcRelAssociatesMaterial</i>	<i>RelatingMaterial:IfcMaterialSelect</i>

FONTE: A Autora (2024)

O material das vigas pode ser definido de maneira análoga aos materiais dos itens já mencionados.

#### 4.3.18 Fachada

QUADRO 30 – ANÁLISE DO OBJETO FACHADA

Objeto			Fachada	
Atributo			Material	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	<i>WallSurface</i>	-	<i>X3DMaterial</i>	-
<b>IFC</b>	<i>IfcWall</i>	-	<i>IfcRelAssociatesMaterial</i>	<i>RelatingMaterial:IfcMaterialSelect</i>

FONTE: A Autora (2024)

O material da fachada pode ser definido de maneira análoga aos materiais dos itens já mencionados.

#### 4.3.19 Elevador

QUADRO 31 – ANÁLISE DO OBJETO ELEVADOR

Objeto			Elevador	
Atributo			Material	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	<i>BuildingInstallation</i>	-	<i>X3DMaterial</i>	-
<b>IFC</b>	<i>IfcTransportElement</i>	-	<i>IfcRelAssociatesMaterial</i>	<i>RelatingMaterial:IfcMaterialSelect</i>

FONTE: A Autora (2024)

O material do elevador pode ser definido de maneira análoga aos materiais dos itens já mencionados.

## 4.3.20 Andar

QUADRO 32 – ANÁLISE DO OBJETO ANDAR

Objeto			Andar	
Atributo			População	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	<i>BuildingPart</i>	<i>occupancy</i>	<i>Occupancy</i>	<i>numberOfOccupants</i>
<i>IFC</i>	<i>IfcBuildingStorey</i>	-	-	-

FONTE: A Autora (2024)

A classe *Storey*, no *CityGML*, se refere ao espaço lógico andar, e não ao espaço físico. O espaço físico “andar” pode ser representado pela classe *BuildingUnit*, que possui o atributo *occupancy*, associado à classe *Occupancy*, que define o tipo de dados de ocupação. O atributo *numberOfOccupants* dessa classe define o número de pessoas que ocupam a *BuildingUnit* (Kolbe et al., 2021). O IFC não possui esse atributo para a classe *IfcBuildingStorey*.

## 4.3.21 Saída/entrada de ar

QUADRO 33 – ANÁLISE DO OBJETO ENTRADA/SAIDA DE AR – continua

Objeto			Saída/Entrada de Ar	
Atributo			Distância do piso ao duto	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
<i>IFC</i>	<i>IfcFlowTerminal</i>	-	-	-
Atributo			Área da seção do duto	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
<i>IFC</i>	<i>IfcDuctSegment</i>	-	<i>Qto_DuctSegmentBaseQuantities</i>	<i>NetCrossSectionArea</i>
Atributo			Proporção das dimensões do duto	

QUADRO 33 – ANÁLISE DO OBJETO ENTRADA/SAIDA DE AR – conclusão

	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
<i>IFC</i>	<i>IfcFlowSegment</i>	-	-	-
<b>Atributo</b>			<b>Distância vertical entre a entrada e a saída do duto</b>	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
<i>IFC</i>	<i>IfcFlowTerminal</i>	-	-	-
<b>Atributo</b>			<b>Distância horizontal em planta da saída de ar à porta de entrada da antecâmara</b>	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
<i>IFC</i>	<i>IfcFlowTerminal</i>	-	-	-
<b>Atributo</b>			<b>Distância horizontal em planta da entrada de ar à porta de entrada da escada</b>	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
<i>IFC</i>	<i>IfcFlowTerminal</i>	-	-	-

FONTE: A Autora (2024)

No IFC, as saídas dos dutos são representadas pela classe *IfcFlowTerminal*, que representa a ocorrência de um elemento permanentemente anexado que atua como terminal ou início de um sistema de distribuição (por exemplo, saída de ar, dreno, vaso sanitário, pia, etc.). É normalmente um ponto no qual um sistema faz interface com um ambiente externo. A distância do elemento saída de ar ao elemento piso, não é armazenada em atributos, apesar de ambos possuírem sua localização por meio do *IfcAxis2Placement* (Buildingsmart, 2024). No *CityGML*, as saídas e entradas de ar não possuem classe específica.

Os segmentos de dutos, no IFC, são representados pela classe *IfcDuctSegment*. que define elementos normalmente usados para unir duas seções da rede de dutos. São definidos quatro tipos de segmentos de dutos: *FLEXIBLESEGMENT* (flexível), *RIGIDSEGMENT* (rígido), *USERDEFINED* (definido pelo usuário), *NOTDEFINED* (não definido). Suas quantidades são definidas pelo conjunto *Qto\_DuctSegmentBaseQuantities*, sendo a área da seção representada pela propriedade *NetCrossSectionArea* (Buildingsmart, 2024). A proporção entre as dimensões do duto não está representada nas propriedades dos dutos do IFC.

### 4.3.22 Luminária de emergência

QUADRO 34 - ANÁLISE DO OBJETO LUMINÁRIA DE EMERGÊNCIA

Objeto			Luminária de Emergência	
Atributo			Localização	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<b>CityGML</b>	-	-	<i>DirectPosition</i> (ISO 19107:2003)	<i>coordinate:Sequenc e &lt;number&gt; [1..1]</i>
<b>IFC</b>	<i>IfcLightFixture</i>	-	<i>IfcLocalPlacem ent</i>	<i>RelativePlacement:If cAxis2Placement</i>
Atributo			Tipo	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<b>CityGML</b>	-	-	-	-
<b>IFC</b>	<i>IfcLightFixtureTy pe</i>	-	<i>IfcLightFixtureT ypeEnum</i>	<i>PredefinedType</i>
Atributo			Nível de iluminação	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<b>CityGML</b>	-	-	-	-
<b>IFC</b>	<i>IfcLamp</i>	<i>ContributedLumino usFlux</i>	<i>IfcLuminousFlu xMeasure</i>	-

FONTE: A Autora (2024)

A localização das luminárias de emergência, no IFC, ocorre de maneira similar à dos outros elementos. No *CityGML*, não existe classe para esse objeto.

No IFC, as luminárias de emergência pertencem à classe *IfcLightFixtureType*, que possui o tipo *SECURITYLIGHTING*. Esse tipo corresponde à uma luminária com finalidade específica de direcionar os ocupantes em uma emergência, como um sinal de saída iluminado ou um holofote de emergência. O tipo de luminária pode ser obtido da propriedade *SecurityLightingType*, do conjunto *Pset\_LightFixtureTypeSecurityLighting* (Buildingsmart, 2024).

O nível de iluminação envolve as luminárias e os espaços iluminados, mas não é representado, nem nas classes de espaços, nem na de luminárias.

#### 4.3.23 Placa de sinalização de emergência

QUADRO 35 - ANÁLISE DO OBJETO PLACA DE SINALIZAÇÃO DE EMERGÊNCIA

Objeto		Placa de Sinalização de Emergência		
Atributo	Localização			
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
IFC	<i>IfcSign</i>	-	<i>IfcLocalPlacement</i>	<i>RelativePlacement:IfcAxis2Placement</i>
Atributo		Tipo		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
IFC	<i>IfcSign</i>	-	<i>IfcSignTypeEnum</i>	<i>PredefinedType</i>

FONTE: A Autora (2024)

A localização das placas de sinalização de emergência, no IFC, ocorre de maneira similar à dos outros elementos. No *CityGML*, não existe classe para esse objeto. O conjunto *Pset\_SignCommon*, da classe *IfcSign*, possui a propriedade *Category*, na qual é definido o tipo da placa (Buildingsmart, 2024). No *CityGML* não há uma classe específica para esse tipo de dispositivo.

## 4.3.24 Extintor

QUADRO 36 - ANÁLISE DO OBJETO EXTINTOR

Objeto			Extintor de Incêndio	
Atributo			Localização	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
IFC	-	-	-	-
Atributo			Tipo	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
UCM	<i>FireExtinguisher</i>	<i>material</i>	-	-

FONTE: A Autora (2024)

Nem o IFC nem o *CityGML* dispõe de classes para representar os extintores. O tipo de extintor faz referência ao tipo de material que extingue o fogo, e é representado na classe do UCM *FireExtinguisher*, no atributo *material*. Os tipos possíveis são: Pó Químico, Água ou CO<sub>2</sub>.

## 4.3.25 Acionador de alarme

QUADRO 37 - ANÁLISE DO OBJETO ACIONADOR DE ALARME

Objeto			Acionador de Alarme	
Atributo	Localização			
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
IFC	<i>IfcAlarm</i>	-	<i>IfcLocalPlacement</i>	<i>RelativePlacement:IfcAxis2Placement</i>
Atributo			Altura	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
IFC	<i>IfcAlarm</i>	-	<i>IfcLocalPlacement</i>	<i>RelativePlacement:IfcAxis2Placement</i>

FONTE: A Autora (2024)

A localização e a altura dos acionadores de alarme, no IFC, são tratadas de forma similar à dos outros elementos. No *CityGML*, não há classe para esse objeto.

#### 4.3.26 Avisador de alarme

QUADRO 38 - ANÁLISE DO OBJETO AVISADOR DE ALARME

Classe		Avisador de Alarme		
Atributo		Altura		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
<b>IFC</b>	<i>IfcAlarm</i>	-	<i>IfcLocalPlacement</i>	<i>RelativePlacement:IfcAxis2Placement</i>

FONTE: A Autora (2024)

A localização dos avisadores de alarme, no IFC, ocorre de maneira similar à dos outros elementos. No *CityGML*, não há classe para esse objeto.

#### 4.3.27 Detector de fumaça

QUADRO 39 - ANÁLISE DO OBJETO DETECTOR DE FUMAÇA

Objeto		Detector de fumaça		
Atributo	Localização			
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
<b>IFC</b>	<i>IfcSensor</i>	-	<i>IfcLocalPlacement</i>	<i>RelativePlacement:IfcAxis2Placement</i>

FONTE: A Autora (2024)

A localização dos detectores de fumaça, no IFC, ocorre de maneira similar à dos outros elementos. No *CityGML*, não há classe para esse objeto.

## 4.3.28 Hidrante

QUADRO 40 - ANÁLISE DO OBJETO HIDRANTE - continua

Objeto			Hidrante	
Atributo			Localização	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Especifica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
<b>IFC</b>	<i>IfcFireSuppressionType</i>	-	<i>IfcLocalPlacement</i>	<i>RelativePlacement:IfcAxis2Placement</i>
Atributo			Dimensões	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Especifica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
<b>IFC</b>	<i>IfcFireSuppressionType</i>	-	<i>Pset_ElementSize</i>	<i>NominalLength/NominalWidth/NominalHeight</i>
Atributo			Altura	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Especifica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
<b>IFC</b>	<i>IfcFireSuppressionType</i>	-	<i>IfcLocalPlacement</i>	<i>RelativePlacement:IfcAxis2Placement</i>
Atributo			Material	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Especifica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
<b>IFC</b>	<i>IfcFireSuppressionType</i>	-	<i>IfcRelAssociatesMaterial</i>	<i>RelatingMaterial:IfcMaterialSelect</i>
Atributo			Tipo	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Especifica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
<b>UCM</b>	<i>FireHydrant</i>	<i>nozzleType</i>	-	-
Atributo			Diâmetro da mangueira	

QUADRO 40 - ANÁLISE DO OBJETO HIDRANTE – conclusão

	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
<b>UCM</b>	<i>FireHydrant</i>	<i>diameter</i>	-	-
Atributo		Comprimento da mangueira		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
<b>UCM/IFC</b>	-	-	-	-
Atributo		Quantidade de válvulas		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
<b>IFC</b>	<i>IfcFireSuppressionTerminal</i>	-	<i>Pset_FireSuppressionTerminalTypeFireHydrant</i>	<i>NumberOfHoseConnections</i>
Atributo		Vazão mínima		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
<b>IFC</b>	<i>IfcFireSuppressionTerminal</i>	-	<i>Pset_FireSuppressionTerminalTypeFireHydrant</i>	<i>DischargeFlowRate</i>
Atributo		Pressão mínima		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
<b>IFC</b>	<i>IfcFireSuppressionTerminal</i>	-	<i>Pset_FireSuppressionTerminalTypeFireHydrant</i>	<i>PressureRating</i>
Atributo		Distância às portas e escadas		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
<b>IFC</b>	<i>IfcFireSuppressionTerminal</i>	-	-	-

FONTE: A Autora (2024)

A localização e a altura dos hidrantes, no IFC, são tratadas de maneira similar à dos outros elementos. No *CityGML*, não há classe para esse objeto.

As dimensões do abrigo são representadas pelo conjunto *Pset\_ElementSize*, com as propriedades *NominalLength*, *NominalWidth* e *NominalHeight*. Essa classe é aplicável à algumas classes do IFC, dentre essas a classe *IfcFlowTerminal*, da qual a *IfcFireSuppressionType* é derivada (Buildingsmart, 2024).

O material dos hidrantes pode ser definido de maneira análoga aos materiais dos itens já mencionados.

O tipo de hidrante, no UCM, pode ser definido no atributo *nozzType*, da classe *FireHydrant*. São possíveis os tipos: jato sólido, esguicho e jato sólido e esguicho.

O diâmetro da mangueira do hidrante, no UCM, pode ser definido no atributo *diameter*, em polegadas, da classe *FireHydrant*. O comprimento da mangueira não é armazenado em nenhum atributo. As informações referentes à quantidade de válvulas são armazenadas no atributo *NumberOfHoseConnections*, da classe *Pset\_FireSuppressionTerminalTypeFireHydrant*, referente ao *IfcFireSuppressionTerminal* (Buildingsmart, 2024).

A vazão mínima está armazenada no atributo *DischargeFlowRate*, da classe *Pset\_FireSuppressionTerminalTypeFireHydrant*, referente ao *IfcFireSuppressionTerminal* (Buildingsmart, 2024).

A pressão mínima está armazenada no atributo *PressureRating*, da classe *Pset\_FireSuppressionTerminalTypeFireHydrant*, referente ao *IfcFireSuppressionTerminal* (Buildingsmart, 2024).

A distância às portas e escadas não possui atributo nem no IFC, nem no UCM.

#### 4.3.29 Tubulação de incêndio

QUADRO 41 - ANÁLISE DO OBJETO TUBULAÇÃO DE INCÊNDIO – continua

Objeto	Tubulação de Incêndio			
Atributo	Localização			
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
<b>IFC</b>	<i>IfcPipeSegment</i>	-	<i>IfcLocalPlacement</i>	<i>RelativePlacement:IfcAxis2Placement</i>
Atributo	Diâmetro			

QUADRO 41 - ANÁLISE DO OBJETO TUBULAÇÃO DE INCÊNDIO – conclusão

	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
IFC	<i>IfcPipeSegment</i>	-	<i>Pset_PipeSegmentTypeCommon</i>	<i>NominalDiameter</i>
<b>Atributo</b>		<b>Material</b>		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
IFC	<i>IfcPipeSegment</i>	-	<i>IfcRelAssociatesMaterial</i>	<i>RelatingMaterial:IfcMaterialSelect</i>
<b>Atributo</b>		<b>Condição (aparente ou oculta)</b>		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
IFC	<i>IfcPipeSegment</i>	-	-	-
<b>Atributo</b>		<b>Cor</b>		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
IFC	<i>IfcPipeSegment</i>	-	<i>Pset_PipeSegmentOccurrence</i>	<i>Colour</i>

FONTE: A Autora (2024)

A localização da tubulação, no IFC, ocorre de maneira similar à dos outros elementos. No *CityGML*, não há classe para esse objeto. O diâmetro da tubulação de incêndio está representado como o atributo *NominalDiameter*, cujo domínio compreende a classe *IfcPositiveLengthMeasure*, relacionada ao conjunto de propriedades *Pset\_PipeSegmentTypeCommon* da classe *IfcPipeSegment*, classe usada para representar o segmento que une duas seções de uma rede de tubulação (Buildingsmart, 2024).

O material dos hidrantes pode ser definido de maneira análoga aos materiais dos itens já mencionados.

A condição da tubulação não existe como atributo no IFC.

A cor da tubulação é armazenada na propriedade *Colour*, do conjunto *Pset\_PipeSegmentOccurrence*, que armazena a cor relacionada ao *IfcPipeSegment* (Buildingsmart, 2024).

#### 4.3.30 Bomba de incêndio

QUADRO 42 - ANÁLISE DO OBJETO TUBULAÇÃO DE INCÊNDIO

Classe		Bomba de Incêndio		
Atributo	Vazão			
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
<b>IFC</b>	<i>IfcPump</i>	-	<i>Pset_PumpTypeCommon</i>	<i>FlowRateRange</i>
Atributo		Potência		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
<b>IFC</b>	<i>IfcPump</i>	-	-	-
Atributo		Funcionamento		
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
<b>TIC</b>	-	<i>operating</i>	-	-

FONTE: A Autora (2024)

A vazão da bomba é definida pelo atributo *FlowRateRange*, da classe *IfcPump* (Buildingsmart, 2024). O atributo potência não é representado no IFC.

O atributo *operating* recebe informações de sensores externos.

#### 4.3.31 Registro de recalque

QUADRO 43 - ANÁLISE DO OBJETO REGISTRO DE RECALQUE

Objeto	Registro de recalque			
Atributo	Localização			
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
<b>IFC</b>	<i>IfcValve</i>	-	<i>IfcLocalPlacement</i>	<i>RelativePlacement:IfcAxis2Placement</i>

FONTE: A Autora (2024)

A localização dos registros de recalque, no IFC, ocorre de maneira similar à dos outros elementos. No *CityGML*, não há classe para esse objeto.

#### 4.3.32 Registro de chuveiros automáticos

QUADRO 44 - ANÁLISE DO OBJETO REGISTRO DE CHUVEIROS AUTOMÁTICOS

Objeto			Registro dos chuveiros automáticos	
Atributo			Localização	
	Classe Objeto	Atributo Objeto	Classe Específica	Atributo Específico
<i>CityGML</i>	-	-	-	-
<b>IFC</b>	<i>IfcValve</i>	-	<i>IfcLocalPlacement</i>	<i>RelativePlacement:IfcAxis2Placement</i>

FONTE: A Autora (2024)

A localização dos registros de chuveiros automáticos, no IFC, ocorre de maneira similar à dos outros elementos. No *CityGML*, não há classe para esse objeto.

O Quadro 45 sintetiza a análise apresentada nos quadros anteriores.

QUADRO 45 – CORRESPONDÊNCIA ENTRE ATRIBUTOS - continua

OBJETOS DO MUNDO REAL	CORRESPONDÊNCIA TOTAL	CORRESPONDÊNCIA PARCIAL	SEM CORRESPONDÊNCIA
Janela	Localização		
Sala	Altura Área	População	
Edificação	Altura Localização Endereço Tipo Ocupação	Presença de brigada de incêndio Distância até a edificação mais próxima Zoneamento Horário de funcionamento Presença de PNE Carga de incêndio	Distância até o corpo de bombeiros
Abertura	Localização Área		
Reservatório	Localização Volume		

QUADRO 45 – CORRESPONDÊNCIA ENTRE ATRIBUTOS – continuação

Escada	Largura Altura	Material Pé-direito Comprimento dos patamares Comprimento da antecâmara da escada enclausurada Pé-direito da antecâmara da escada enclausurada	
Corredor	Largura		
Porta	Largura Altura Sentido de abertura Operação	Material Porta corta-fogo Barra antipânico	
Corrimão			Altura
Portão	Largura Altura		
Piso		Material	
Parede		Material	
Forro		Material	
Cobertura		Material	
Via		Largura Capacidade de carga Altura livre	
Laje		Material	
Viga		Material	
Fachada		Material	
Elevador		Material	
Andar		População	
Saída/Entrada de ar			Distância do piso ao duto
			Área da seção do duto
			Proporção das dimensões do duto
			Distância vertical entre a entrada e a saída do duto

QUADRO 45 – CORRESPONDÊNCIA ENTRE ATRIBUTOS – conclusão

Saída/Entrada de ar			Distância horizontal em planta da saída de ar à porta de entrada da antecâmara
			Distância horizontal em planta da entrada de ar à porta de entrada da escada
Luminária de emergência			Localização Tipo Nível de iluminação
Placa de sinalização de emergência			Localização Tipo
Extintor			Localização Tipo
Acionador de alarme			Localização Altura
Avisador de alarme			Altura
Detector de fumaça			Localização
Hidrante			Localização Dimensões Altura Material Tipo Diâmetro da mangueira Comprimento da mangueira Quantidade de válvulas Vazão mínima Pressão mínima Distância às portas e escadas
Tubulação de incêndio			Diâmetro do tubo Cor Condição do tubo
Bomba de incêndio			Vazão Potência Funcionamento
Registro de recalque			Localização
Registro dos chuveiros automáticos			Localização

FONTE: A Autora (2024)

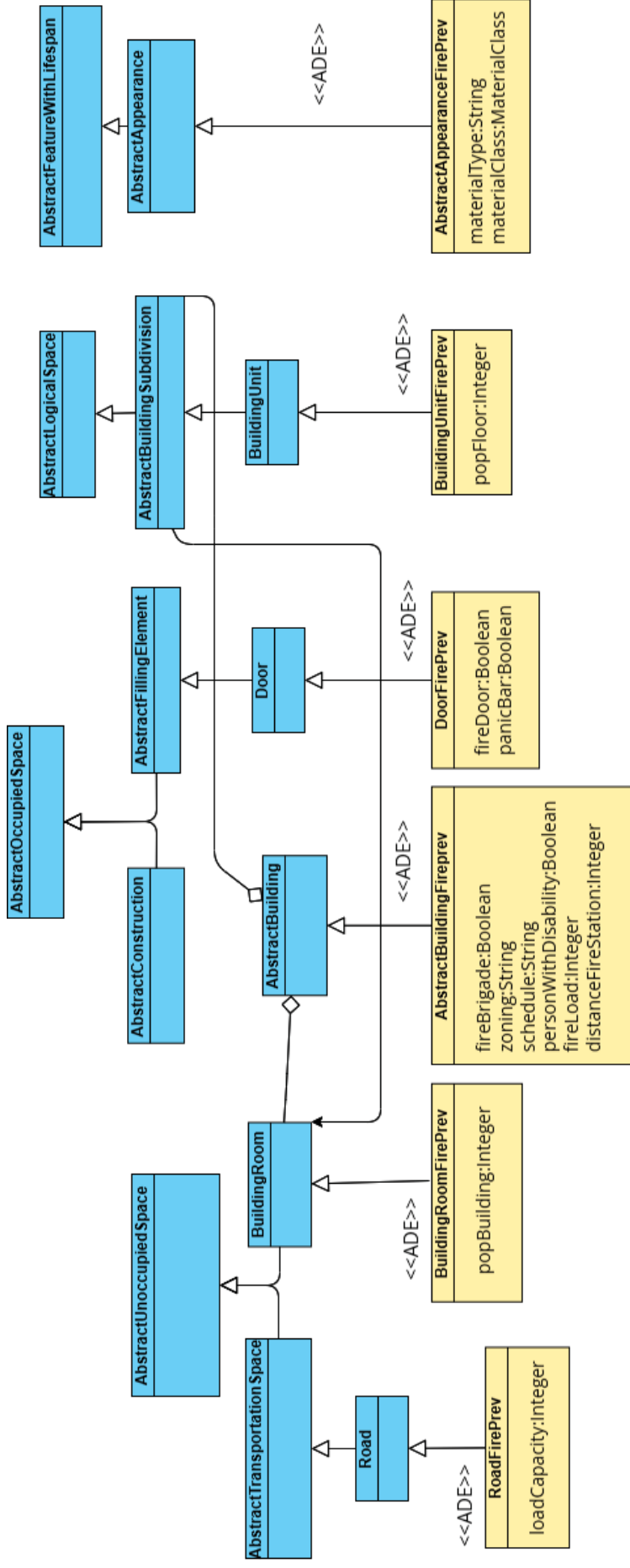
#### 4.4 MODELO CONCEITUAL DA ADE\_FirePrev

O modelo conceitual foi dividido em duas partes, A e B, de acordo com a forma de criação das classes. Na parte A, estão as classes existentes que tiveram atributos adicionados. São estas: *AbstractAppearanceFirePrev*, *BuildingRoomFirePrev*, *AbstractBuildingFirePrev*, *DoorFirePrev*, *RoadFirePrev* e *BuildingUnitFirePrev*. A parte A do modelo está apresentada na Figura 29.

Na parte B, 12 classes foram criadas: *Railing*; *AirDuct*; *AirTerminal*; *EmergencyLamp*; *EmergencySign*; *FireExtinguisher*; *Alarm*; *SmokeDetector*; *Hydrant*; *PipeSegment*; *Pump* e *Valve*. As classes estão classificadas pela cor: as azuis são pré-existentes no *CityGML*, as amarelas são classes criadas para a ADE\_FirePrev. A parte B está apresentada na Figura 30.

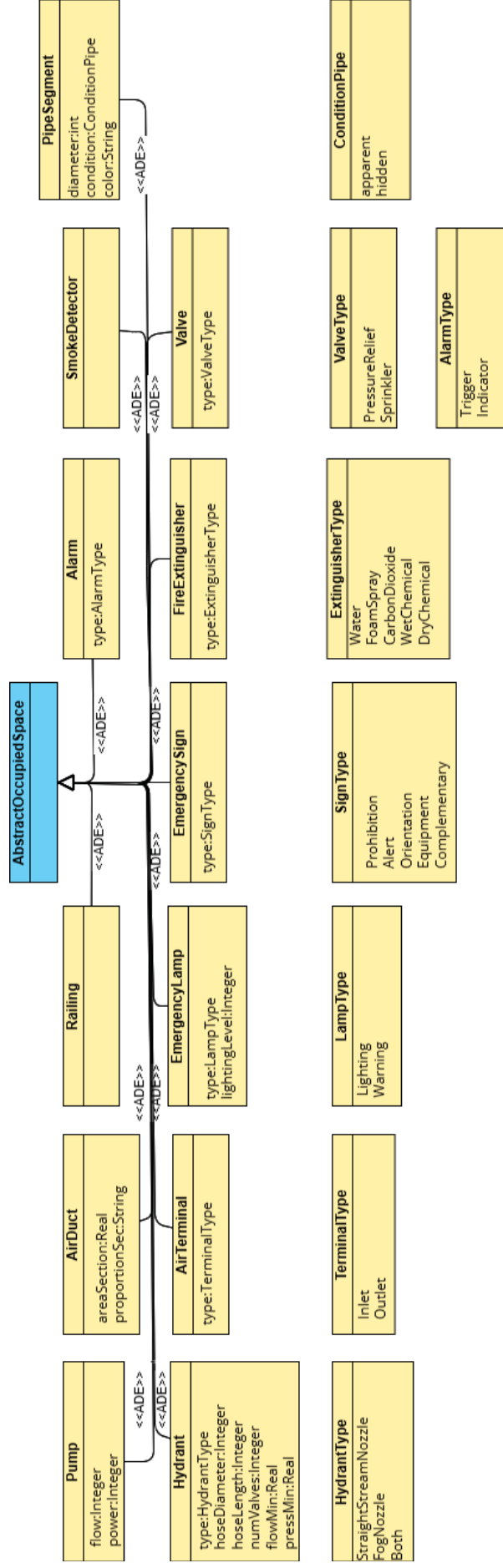
Os atributos geométricos, como localização, largura ou altura, por exemplo, podem ser medidos diretamente no modelo e, portanto, não foram incluídos na ADE.

FIGURA 29 – ADE\_FirePrev PARTE A



FONTE: A Autora (2024)

FIGURA 30- ADE\_FirePrev PARTE B



FONTE: A Autora (2024)

No Quadro 46, estão listadas as novas classes criadas, com seus respectivos atributos. Para as classes *Railing* e *SmokeDetector*, não foram adicionados atributos, no entanto, sua localização é importante ao projeto, por isso optou-se por criar uma classe própria. Além da criação de novas classes, algumas existentes tiveram atributos adicionados, e são apresentadas no Quadro 48.

QUADRO 46 – NOVAS CLASSES CRIADAS - continua

CLASSE	ATRIBUTO	TIPO (TAMANHO)	DESCRIÇÃO	DOMÍNIO
<i>Railing</i>				
<i>AirDuct</i>	<i>areaSection</i>	<i>Real</i>	Indica a área da seção transversal do duto	A ser preenchido
	<i>proportionSec</i>	<i>String (150)</i>	Indica a proporção entre as medidas da seção transversal	A ser preenchido
<i>AirTerminal</i>	<i>type</i>	<i>String (150)</i>	Indica o tipo de terminal de ar	1.1
<i>EmergencyLamp</i>	<i>type</i>	<i>String (150)</i>	Indica o tipo da luminária	1.2
	<i>lightningLevel</i>	<i>Integer</i>	Indica o nível de iluminação, em lumens	A ser preenchido
<i>FireExtinguisher</i>	<i>type</i>	<i>String (150)</i>	Indica o tipo do extintor	1.3
<i>Alarm</i>	<i>type</i>	<i>String (150)</i>	Indica o tipo do alarme	1.4
<i>SmokeDetector</i>				
<i>FireHydrant</i>	<i>type</i>	<i>String (150)</i>	Indica o tipo do hidrante	1.5
	<i>hoseDiameter</i>	<i>Integer</i>	Indica o diâmetro da mangueira, em milímetros	A ser preenchido
	<i>hoseLength</i>	<i>Integer</i>	Indica o comprimento da mangueira, em metros	A ser preenchido
	<i>numValves</i>	<i>Integer</i>	Indica o número de válvulas do hidrante	A ser preenchido
	<i>flowMin</i>	<i>Real</i>	Indica a vazão mínima, em litros por minuto	A ser preenchido
	<i>pressMin</i>	<i>Real</i>	Indica a pressão mínima, em mca	A ser preenchido

QUADRO 46 – NOVAS CLASSES CRIADAS - conclusão

<i>PipeSegment</i>	<i>diameter</i>	<i>Integer</i>	Indica o diâmetro do segmento de tubo, em milímetros	A ser preenchido
	<i>color</i>	<i>String (150)</i>	Indica a cor do segmento de tubo	A ser preenchido
	<i>condition</i>	<i>String (150)</i>	Indica a condição do segmento de tubo, se aparente ou oculta	1.6
<i>Pump</i>	<i>flow</i>	<i>Integer</i>	Indica a vazão da bomba, em litros por minuto	A ser preenchido
	<i>power</i>	<i>Integer</i>	Indica a potência da bomba, em CV	A ser preenchido
	<i>operating</i>	<i>Boolean</i>	Indica se a bomba está em funcionamento no momento	1.7
<i>Valve</i>	<i>type</i>	<i>String (150)</i>	Indica o tipo do registro	1.8
<i>EmergencySign</i>	<i>type</i>	<i>String (150)</i>	Indica o tipo da placa	1.9

FONTE: A Autora (2024)

O Quadro 47 apresenta os domínios dos atributos das novas classes, indicados nos itens 1.1 a 1.9.

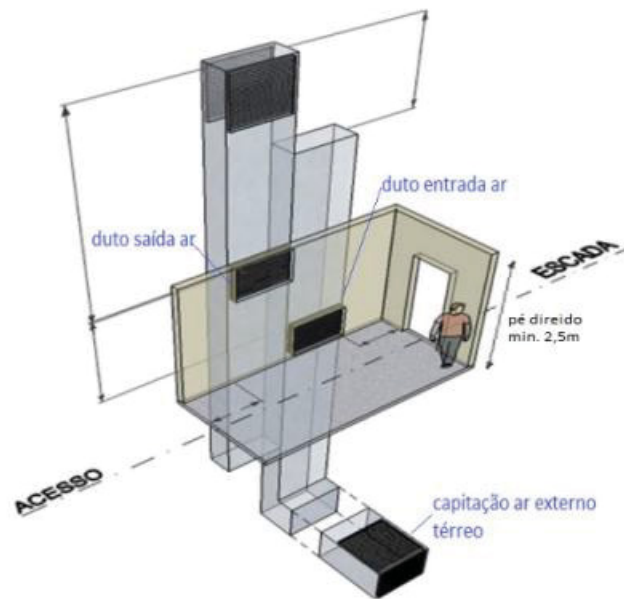
QUADRO 47 – DOMÍNIOS DOS ATRIBUTOS DAS NOVAS CLASSES

1.1	<i>TerminalType</i>
	<i>Inlet</i>
	<i>Outlet</i>
1.2	<i>LampType</i>
	<i>Lighting</i>
	<i>Warning</i>
1.3	<i>ExtinguisherType</i>
	<i>Water</i>
	<i>FoamSpray</i>
	<i>CarbonDioxide</i>
	<i>WetChemical</i>
	<i>DryChemical</i>
1.4	<i>AlarmType</i>
	<i>Trigger</i>
	<i>Indicator</i>
1.5	<i>HydrantType</i>
	<i>StraightStreamNozzle</i>
	<i>FogNozzle</i>
	<i>Both</i>
1.6	<i>ConditionPipe</i>
	<i>Apparent</i>
	<i>Hidden</i>
1.7	<i>Operating</i>
	<i>Yes</i>
	<i>No</i>
1.8	<i>ValveType</i>
	<i>PressureRelief</i>
	<i>Sprinkler</i>
1.9	<i>SignType</i>
	<i>Prohibition</i>
	<i>Alert</i>
	<i>Orientation</i>
	<i>Equipament</i>
	<i>Complementary</i>

FONTE: A Autora (2024)

A classe *AirTerminal* se refere aos dutos de entrada e saída de ar da escada enclausurada, de acordo com a NPT 011 do Corpo de Bombeiros do Paraná, referente a saídas de emergência (Figura 31).

FIGURA 31 – DUTOS DE ENTRADA E SAÍDA DE AR



FONTE: Corpo de Bombeiros Militar do Paraná (2016, p. 22)

QUADRO 48 – CLASSES DERIVADAS DAS EXISTENTES - continua

CLASSE	ATRIBUTO	TIPO (TAMANHO)	DESCRIÇÃO	DOMÍNIO
<i>AbstractAppearanceFirePrev</i>	<i>materialType</i>	<i>String (150)</i>	Indica o material	A ser preenchido
	<i>materialClass</i>	<i>String (150)</i>	Indica a classificação do material quanto à NPT 010 - Controle de materiais de acabamento e revestimento (2014)	1.10
<i>BuildingRoomFirePrev</i>	<i>popBuilding</i>	<i>Integer</i>	Indica a quantia máxima de ocupantes na sala, calculada conforme a NPT 011 - Saídas de Emergência (2016).	A ser preenchido
<i>AbstractBuildingFirePrev</i>	<i>fireBrigade</i>	<i>Boolean</i>	Indica a presença ou não de brigada de incêndio no prédio.	1.11

QUADRO 48 – CLASSES DERIVADAS DAS EXISTENTES - continua

	<i>zoning</i>	<i>String (150)</i>	Indica a zona na qual a edificação está inserida, conforme plano diretor municipal	1.12
	<i>schedule</i>	<i>String (150)</i>	Indica o período em que a edificação está ocupada por pessoas.	A ser preenchido
	<i>personWithDisability</i>	<i>Boolean</i>	Indica a presença ou não de portadores de necessidades especiais no prédio.	1.13
	<i>fireLoad</i>	<i>Integer</i>	Indica a carga de incêndio, calculada conforme a NPT 014 - Carga de incêndio nas edificações e áreas de risco (2021), determinada em MJ/m <sup>2</sup> .	A ser preenchido
	<i>distanceFireStation</i>	<i>Integer</i>	Indica a distância em metros até o corpo de bombeiros mais próximo	A ser preenchido
<i>DoorFirePrev</i>	<i>fireDoor</i>	<i>Boolean</i>	Indica a presença ou não de porta corta-fogo	1.14
	<i>panicBar</i>	<i>Boolean</i>	Indica a presença ou não de barra antipânico	1.15
<i>RoadFirePrev</i>	<i>loadCapacity</i>	<i>Integer</i>	Indica a capacidade de carga da via, em toneladas por metro quadrado.	A ser preenchido

QUADRO 48 – CLASSES DERIVADAS DAS EXISTENTES – conclusão

<i>BuildingUnitFirePrev</i>	<i>popFloor</i>	<i>Integer</i>	Indica a quantia máxima de ocupantes na sala, calculada conforme a NPT 011 - Saídas de Emergência (2016).	A ser preenchido
-----------------------------	-----------------	----------------	---	------------------

FONTE: A Autora (2024)

O Quadro 49 apresenta os domínios dos atributos indicados pelos itens 1.10 a 1.15.

QUADRO 49 – CLASSES DERIVADAS DAS EXISTENTES - continua

1.10	<i>materialClass</i>
	piso - I
	piso - II-A
	piso - II-B
	piso - III-A
	piso - III-B
	piso - IV-A
	piso - IV-B
	piso - V-A
	piso - V-B
	I
	II-A
	II-B
	III-A
	III-B
	IV-A
	IV-B
	V-A
	V-B
	VI
1.11	<i>fireBrigade</i>
	Yes
	No
1.12	<i>zoning</i>
	zona central
	zona residencial 1
	zona residencial 2
	zona residencial 3
	zona residencial 3 - transição
	zona residencial 4

QUADRO 49 – CLASSES DERIVADAS DAS EXISTENTES – conclusão

setor especial de habitação de interesse social	
zona residencial de ocupação controlada	
zona residencial de ocupação integrada	
zona de uso misto 1	
zona de uso misto 2	
zona de uso misto 3	
zona de uso misto vale do pinhão	
zona saldanha marinho	
zona são francisco	
zona educacional	
zona militar	
zona polo de software	
zona histórica	
zona centro cívico	
zona comercial santa felicidade	
zona comercial umbará	
zona de serviços 1	
zona de serviços 2	
zona industrial	
1.13	<i>personWithDisability</i>
Yes	
No	
1.14	<i>fireDoor</i>
Yes	
No	
1.15	<i>panicBar</i>
Yes	
No	

FONTE: A Autora (2024)

As Figuras 32 e 33 apresentam a classificação dos materiais de revestimento de piso, indicados no item 1.10.

FIGURA 32 - CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS DE REVESTIMENTO DE PISO

Método de Ensaio		ISO 1182	NBR 8660	EM ISO 11925-2 (exposição = 15s)	ASTM E 662
Classe					
I		Incombustível $\Delta T \leq 30^\circ \text{C}$ $\Delta m \leq 50\%$ $t_f \leq 10 \text{ s}$	-	-	-
II	A	Combustível	Fluxo crítico $\geq 8,0 \text{ kW/m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 20 s	Dm $\leq 450$
	B	Combustível	Fluxo crítico $\geq 8,0 \text{ kW/m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 20 s	Dm $> 450$
III	A	Combustível	Fluxo crítico $\geq 4,5 \text{ kW/m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 20 s	Dm $\leq 450$
	B	Combustível	Fluxo crítico $\geq 4,5 \text{ kW/m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 20 s	Dm $> 450$
IV	A	Combustível	Fluxo crítico $\geq 3,0 \text{ kW/m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 20 s	Dm $\leq 450$
	B	Combustível	Fluxo crítico $\geq 3,0 \text{ kW/m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 20 s	Dm $> 450$
V	A	Combustível	Fluxo crítico $\geq 3,0 \text{ kW/m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 20 s	Dm $\leq 450$
	B	Combustível	Fluxo crítico $\geq 3,0 \text{ kW/m}^2$	FS $\leq 150 \text{ mm}$ em 20 s	Dm $> 450$

FONTE: Corpo de Bombeiros Militar do Paraná (2014, p. 5)

FIGURA 33 - CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS EXCETO REVESTIMENTO DE PISO

Método de Ensaio		ISO 1182	NBR 9442	ASTM E 662
Classe				
I		Incombustível $\Delta T \leq 30^\circ \text{C}$ $\Delta m \leq 50\%$ $t_f \leq 10 \text{ s}$	-	-
II	A	Combustível	$l_p \leq 25$	Dm $\leq 450$
	B	Combustível	$l_p \leq 25$	Dm $> 450$
III	A	Combustível	$25 < l_p \leq 75$	Dm $\leq 450$
	B	Combustível	$25 < l_p \leq 75$	Dm $> 450$
IV	A	Combustível	$75 < l_p \leq 150$	Dm $\leq 450$
	B	Combustível	$75 < l_p \leq 150$	Dm $> 450$
V	A	Combustível	$150 < l_p \leq 400$	Dm $\leq 450$
	B	Combustível	$150 < l_p \leq 400$	Dm $> 450$
VI		Combustível	$l_p > 400$	-

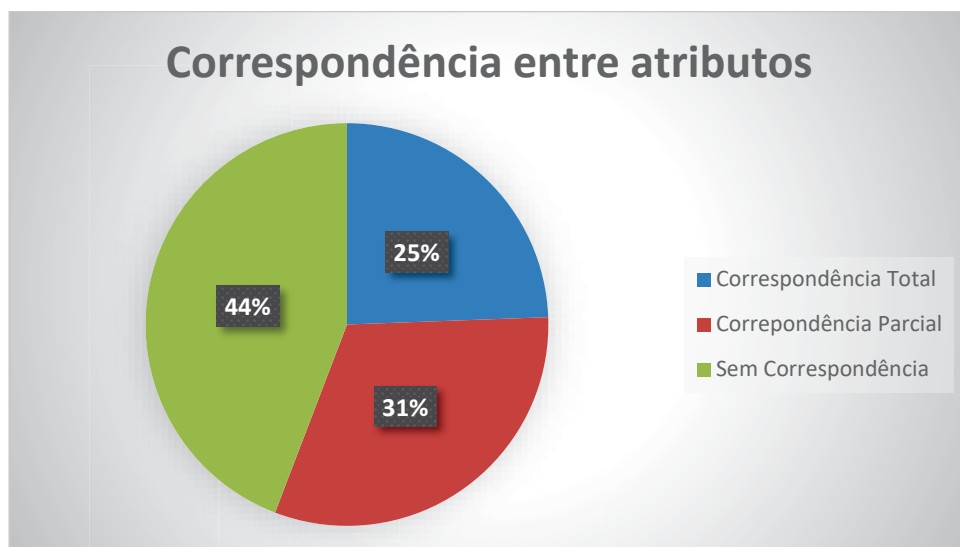
FONTE: Corpo de Bombeiros Militar do Paraná (2014, p. 6)

Os atributos relacionados à escada são geométricos e podem ser medidos nos elementos, portanto, optou-se por permanecer com a classe *BuildingInstallation* sem a necessidade de adicionar atributos a ela.

Ao todo, foram criadas 12 novas classes derivadas de *AbstractOccupiedSpace* e oito classes de propriedades para atributos específicos. Foram criadas também seis subclasses, derivadas das classes existentes.

Dos 86 atributos analisados, 21 apresentam correspondência total, 27 possuem correspondência parcial e 38 não apresentam correspondência. O Gráfico 1 ilustra visualmente a proporção desses resultados. Observa-se que apenas 25% dos atributos apresentam correspondência total, indicando que o modelo conceitual da ADE possibilita o enriquecimento do *CityGML* com até 75% de informações adicionais em comparação ao modelo original de dados.

GRÁFICO 1 – CORRESPONDÊNCIA ENTRE ATRIBUTOS



FONTE: A Autora (2024)

O projeto de prevenção de incêndio envolve diversos itens da edificação que possuem classes genéricas no *CityGML* e mais detalhadas no IFC, portanto, um número reduzido de correspondência total era esperado. No entanto, isso não necessariamente gera mais classes na ADE, porque muitos atributos podem ser relativos à mesma classe, como *FireHydrant*, por exemplo.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho criou-se um modelo conceitual de extensão do domínio de aplicação para a elaboração de projetos técnicos para prevenção de incêndios e desastres (PTPID's). O modelo permitiu estruturar o *City Information Modelling*, com ênfase no ambiente universitário. Foram identificados como os formatos de dados hoje disponíveis na universidade a respeito do espaço físico o IFC e o *shapefile*, e seus modelos conceituais.

Com base na literatura e iniciativas existentes, optou-se por utilizar o *CityGML* como padrão para o modelo 3D semântico dos *campi*. A escolha do uso do *CityGML* para a organização dos dados foi acertada, pois a adição de atributos a esse formato ocorre de maneira lógica e eficiente. O modelo pode ser estendido para uma ampla gama de atividades pelos usuários e, com a versão 3.0, houve mudanças que tornaram a adição de novos atributos ainda mais simples, apesar da pouca literatura existente a respeito das ADEs na versão 3.0. Existem algumas classes, como por exemplo os extintores, que não existem no modelo IFC. No entanto, o mecanismo da ADE torna mais fácil a criação de uma classe para esse elemento no *CityGML* do que no IFC, pois nesse último novas classes devem ser criadas pela *BuildingSMART*.

A análise de correspondência geométrica entre o IFC e o *CityGML* demonstrou que a maior parte dos objetos demandam um LoD de no mínimo 300, no IFC. Os níveis de detalhamento (LoDs) no âmbito do BIM correspondem ao grau mínimo de informação requerido no modelo IFC para viabilizar a transferência de dados ao *CityGML* de forma apropriada. A definição desses níveis tem como objetivo assegurar a confiabilidade e a adequação dos dados às finalidades propostas. No *CityGML*, o LoD é estabelecido a fim de determinar o nível de detalhamento geométrico e semântico necessário para a representação tridimensional do campus. A documentação da versão 3.0 do *CityGML* prevê a possibilidade de adoção de níveis distintos de detalhamento para representações externas e internas dos objetos. Contudo, não especifica de maneira criteriosa quais classes de objetos devem ser contempladas em cada nível de detalhamento interno. Dessa forma, no presente trabalho, todas as classes de objetos internos foram modeladas adotando-se o nível LoD3 de detalhamento.

A análise de correspondência semântica foi realizada com o objetivo de identificar quais atributos deveriam ser incorporados ao modelo conceitual da ADE.

Como resultado, constatou-se que apenas 25% dos atributos apresentaram correspondência total, evidenciando a necessidade de um enriquecimento de 75% em relação ao modelo original — o que foi viabilizado pela estrutura proposta no modelo conceitual da ADE.

O modelo conceitual desenvolvido focou principalmente na integração entre os modelos IFC e *CityGML*, considerando que o formato IFC apresenta uma semântica significativamente mais rica no que tange à informação da construção. Observou-se que a correspondência dos objetos do mundo real — relacionados às edificações e ao entorno — com o IFC foi majoritariamente superior à obtida com o *CityGML*. Esse resultado pode ser atribuído ao fato de o *CityGML* adotar classes mais genéricas para representar os elementos internos das edificações. Dessa forma, atividades que envolvam informações detalhadas do interior das construções tendem a ser mais adequadamente representadas no contexto do City Information Modeling mediante a utilização do IFC. Embora a conversão integral de modelos IFC para *CityGML* ainda seja considerada inviável, essa limitação tende a ser pouco significativa em casos de uso que envolvam subconjuntos restritos, com número reduzido de feições.

Essa pesquisa, por falta de tempo hábil, concentrou-se na elaboração do modelo conceitual. A codificação e a implementação serão realizadas em etapas posteriores. O modelo de dados proposto, quando implementado, permitirá o acesso a atributos dos objetos em conjunto com sua visualização, o que permitirá celeridade ao processo. Ademais, medidas que hoje necessitam ser verificadas *in loco* poderão ser obtidas pelos interessados ao acessar o modelo.

Ainda que o foco tenha sido uma universidade, o método proposto pode também ser usado sem prejuízo em cidades e condomínios. Os elementos das edificações e do entorno são similares, e muito embora as cidades possuam um grau maior de complexidade, ainda assim, ADEs específicas podem ser criadas para muitas atividades envolvidas. O método é versátil para a criação de ADEs para diversas atividades, a partir da definição dos objetos de interesse, dos dados disponíveis e do nível de informação requerido.

Apesar dos benefícios do método proposto, há alguns pontos que necessitam ser enfatizados quando se trata de limitações na obtenção de dados do IFC, principalmente, conforme fora relatado por (Biljecki et al, 2021, p. 11). Na prática, os conjuntos de dados IFC nem sempre apresentam uma semântica rica e completa. Em

alguns casos, podem ocorrer ausências de informação ou classificações inadequadas, comprometendo seu aproveitamento. Nesse contexto, a validação prévia dos arquivos IFC destinados ao enriquecimento da ADE configura-se como uma estratégia relevante, pois permite avaliar o grau de conformidade das informações do modelo em relação às classes definidas no padrão IFC.

O estudo apresenta ainda algumas limitações, entre as quais se destaca a utilização do *CityGML*, formato que atualmente não é amplamente suportado por diversas plataformas de software. Além disso, a abordagem proposta — na qual cada ADE é definida a partir de classes e atributos específicos, conforme diferentes requisitos de informação — implica na necessidade de desenvolver extensões distintas para cada atividade, o que pode tornar o processo mais trabalhoso e demandar maior esforço de modelagem. Ainda, o Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico é distinto em cada estado da federação, ou seja, a definição das informações necessárias terá divergências, no caso de o modelo conceitual ser utilizado em outro estado.

Como recomendações futuras, ficam as seguintes sugestões:

- A codificação e a implementação do modelo *CityGML*;
- O módulo *Versioning*, do *CityGML*, criado para gerenciar mudanças nos dados de cidades 3D ao longo do tempo, poderia ser utilizado para adicionar um elemento temporal em elementos que possuem alterações ao longo do tempo, como os objetos que necessitam de manutenção periódica, como os extintores e hidrantes.
- A padronização de classes considerando os CSCIP's de diferentes estados;
- A construção de ADEs para outras atividades desenvolvidas na universidade.

## REFERÊNCIAS

AFANEH, Ahmad; SHAHROUR, Isam. Use of GIS for SunRise Smart City project, large scale demonstrator of the Smart City. In: **2017 Sensors Networks Smart and Emerging Technologies (SENSET)**. IEEE, 2017. p. 1-4.

AISH, R. *Building Modelling: The Key to Integrated Construction CAD*. **The Fifth International Symposium on the Use of Computers for Environmental Engineering Related to Buildings**. Bath, England, 7 a 9 de julho de 1986.

ALMEIDA, Fernando Antonio da Silva; ANDRADE, Max Lira Veras Xavier. Considerações sobre o conceito de City Information Modeling. **InSitu–Revista Científica do Programa de Mestrado Profissional em Projeto, Produção e Gestão do Espaço Urbano**, v. 4, n. 1, p. 21-38, 2018.

AMIREBRAHIMI, Sam et al. A data model for integrating GIS and BIM for assessment and 3D visualisation of flood damage to *Building*. **Locate**, v. 15, n. 2015, p. 10-12, 2015.

ARGENZIANO, Pasquale; AVELLA, Alessandra; ALBANESE, Stefano. *Building materials, ionizing radiation and HBIM: A case study from Pompei (Italy)*. **Buildings**, v. 8, n. 2, p. 18, 2018.

AZEVEDO, Leonardo da Silva; MIKAMI, Rafael Jansen. Nível de informação (NI) e sua utilização em modelos BIM para projetos e obras públicas. **Revista Técnico-Científica**, 2022.

BACHERT, C.; LEÓN-SÁNCHEZ, C.; KUTZNER, T.; AGUGIARO, G. Mapping the *CityGML* Energy ADE to *CityGML* 3.0 Using a Model-Driven Approach. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 13, n. 4, p. 121, 2024. DOI: 10.3390/ijgi13040121.

BADWI, Ibrahim M.; ELLAITHY, Hisham M.; YOUSSEF, Hidi E. 3D-GIS Parametric modelling for virtual urban simulation using CityEngine. **Annals of GIS**, v. 28, n. 3, p. 325-341, 2022.

BEIRÃO, José Nuno; MENDES, Leticia Teixeira; CELANI, Gabriela. O uso do CIM (City Information Modeling) para geração de implantação em conjuntos de habitação de interesse social: uma experiência de ensino. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 10, n. 2, p. 101-112, 2015.

BILJECKI, Filip et al. Applications of 3D city models: State of the art review. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 4, n. 4, p. 2842-2889, 2015. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi4042842>

BILJECKI, Filip et al. Extending *CityGML* for IFC-sourced 3D city models. **Automation in Construction**, v. 121, p. 103440, 2021.

BILJECKI, Filip; KUMAR, K.; NAGEL, C. *CityGML Application Domain Extension (ADE): overview of developments*. **Open Geospatial Data, Software and Standards**, v. 3, n. 13, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s40965-018-0055-6>. Acesso em: 1 out. 2024.

BILLEN, Roland et al. 3D City Models and urban information: Current issues and perspectives. **European COST Action**. TU0801. 2014.

BIM FORUM BRASIL. **Guias de contratação BIM : conceitos básicos e requisitos para contratação BIM**. Volume 1. 1a. ed. - São Paulo: Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial, 2023. ISBN 978-65-980295-0-0

BIM FORUM. **Level of Development (LOD) Specification 2022 Supplement**. Disponível em [https://bimforum.org/resource/lod\\_level-of-development-lodspecification-2022-supplement/](https://bimforum.org/resource/lod_level-of-development-lodspecification-2022-supplement/) Acesso em 03 ago. 2023

BIM FORUM. **Level of Development (LOD) Specification Part I. 2023**. Disponível em <https://bimforum.org/wp-content/uploads/2023/10/LOD-Spec-2023-Part-I-2024-02-27.pdf> Acesso em 02 out. 2024

BRASIL. **Decreto n.º 10306, de 2 de abril de 2020**. Estabelece a utilização do *Building Information Modelling* na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modelling* - Estratégia BIM BR, instituída pelo Decreto n.º 9.983, de 22 de agosto de 2019. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF. p. 5. 3 de abril e 2020.

BRASIL. **Decreto n.º 9.377, de 17 de maio de 2018**. Institui a Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modelling*. Brasília, 18 de maio de 2018. Seção 1, p. 3.

BRASIL. **Decreto n.º 11.888, de 22 de janeiro de 2024**. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do *Building Information Modelling* no Brasil - Estratégia BIM BR e institui o Comitê Gestor da Estratégia do *Building Information Modelling* - BIM BR. Brasília, 22 de janeiro de 2024.

BRASIL. **Lei n.º 14.133, de 1º de abril de 2021**. Lei de Licitações e Contratos Administrativos. Diário Oficial da República Federativa do Brasil. Brasília, DF. Ed. 61-F, seção 1-Extra F. 1º de abril de 2021.

BUILDINGSMART. **IfcDoor**. 2024. Disponível em [https://standards.Buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4\\_2/FINAL/HTML/schema/ifcshared/bldgelements/lexical/IfcDoor.htm](https://standards.Buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4_2/FINAL/HTML/schema/ifcshared/bldgelements/lexical/IfcDoor.htm)

BUILDINGSMART. **IfcWindow**. 2024. Disponível em [https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2\\_TC1/HTML/schema/ifcshared/bldgelements/lexical/IfcWindow.htm](https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2_TC1/HTML/schema/ifcshared/bldgelements/lexical/IfcWindow.htm)

BUILDINGSMART. ***IfcBuilding.*** 2024. Disponível em <  
[https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4\\_1/FINAL/HTML/schema/ifcproductextension/lexical/IfcBuilding.htm](https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/schema/ifcproductextension/lexical/IfcBuilding.htm)>

BUILDINGSMART. ***IfcOPeningElement.*** 2024. Disponível em <  
<https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC2x3/TC1/HTML/ifcproductextension/lexical/IfcOPeningElement.htm>>

BUILDINGSMART. ***IfcTank.*** 2024. Disponível em <  
[https://standards.Buildingsmart.org/MVD/RELEASE/IFC4/ADD2\\_TC1/RV1\\_2/HTML/schema/ifchvacdomain/lexical/IfcTank.htm](https://standards.Buildingsmart.org/MVD/RELEASE/IFC4/ADD2_TC1/RV1_2/HTML/schema/ifchvacdomain/lexical/IfcTank.htm)>

BUILDINGSMART. ***IfcStair.*** 2024. Disponível em <  
<https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC2x3/TC1/HTML/ifcsharedbldglements/lexical/IfcStair.htm>>

BUILDINGSMART. ***IfcRailing.*** 2024. Disponível em <  
<https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC2x3/TC1/HTML/ifcsharedbldglements/lexical/IfcRailing.htm>>

BUILDINGSMART. ***IfcCovering.*** 2024. Disponível em <  
<https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC2x3/TC1/HTML/ifcproductextension/lexical/IfcCovering.htm>>

BUILDINGSMART. ***IfcWall.*** 2024. Disponível em <  
<https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC2x3/TC1/HTML/ifcsharedbldglements/lexical/IfcWall.htm>>

BUILDINGSMART. ***IfcSlab.*** 2024. Disponível em <  
<https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC2x3/TC1/HTML/ifcsharedbldglements/lexical/IfcSlab.htm>>

BUILDINGSMART. ***IfcBeam.*** 2024. Disponível em <  
<https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC2x3/TC1/HTML/ifcsharedbldglements/lexical/IfcBeam.htm>>

BUILDINGSMART. ***IfcBuildingStorey.*** 2024. Disponível em <  
<https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC2x3/FINAL/HTML/ifcproductextension/lexical/IfcBuildingstorey.htm>>

BUILDINGSMART. ***IfcFlowTerminal.*** 2024. Disponível em <  
<https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC2x3/TC1/HTML/ifcsharedbldgserviceelements/lexical/IfcFlowTerminal.htm>>

BUILDINGSMART. ***IfcDuctSegment.*** 2024. Disponível em <  
[https://standards.Buildingsmart.org/MVD/RELEASE/IFC4/ADD2\\_TC1/RV1\\_2/HTML/schema/ifchvacdomain/lexical/ifcductsegment.htm](https://standards.Buildingsmart.org/MVD/RELEASE/IFC4/ADD2_TC1/RV1_2/HTML/schema/ifchvacdomain/lexical/ifcductsegment.htm)>

- BUILDINGSMART. ***IfcLightFixture***. 2024. Disponível em [https://standards.Buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4\\_2/FINAL/HTML/schema/ifcelectricaldomain/lexical/\*IfcLightFixture\*.htm](https://standards.Buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4_2/FINAL/HTML/schema/ifcelectricaldomain/lexical/<i>IfcLightFixture</i>.htm)
- BUILDINGSMART. ***IfcSign***. 2024. Disponível em [https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4\\_3/HTML/lexical/\*IfcSign\*.htm](https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_3/HTML/lexical/<i>IfcSign</i>.htm)
- BUILDINGSMART. ***IfcAlarm***. 2024. Disponível em [IfcBuildingcontrolsdomain/lexical/\*IfcSensor\*.htm](https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2/HTML/schema/<i>IfcBuildingcontrolsdomain/lexical/<i>IfcAlarm</i>.htm</a></p>
<p>BUILDINGSMART. <b><i>IfcSensor</i></b>. 2024. Disponível em <a href=)
- BUILDINGSMART. ***IfcFireSuppressionTerminal***. 2024. Disponível em [www.bimant.com/ifc/IFC4\\_3/RC1/HTML/schema/ifcplumbingfireprotectiondomain/lexical/\*Ifcfiresuppressionterminal\*.htm](http://www.bimant.com/ifc/IFC4_3/RC1/HTML/schema/ifcplumbingfireprotectiondomain/lexical/<i>Ifcfiresuppressionterminal</i>.htm)
- BUILDINGSMART. ***IfcPipeSegment***. 2024. Disponível em [https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/FINAL/HTML/schema/ifchvacdomain/lexical/\*IfcPipeSegment\*.htm](https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/FINAL/HTML/schema/ifchvacdomain/lexical/<i>IfcPipeSegment</i>.htm)
- BUILDINGSMART. ***IfcPump***. 2024. Disponível em [https://standards.Buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4\\_2/FINAL/HTML/schema/ifchvacdomain/lexical/\*IfcPump\*.htm](https://standards.Buildingsmart.org/IFC/DEV/IFC4_2/FINAL/HTML/schema/ifchvacdomain/lexical/<i>IfcPump</i>.htm)
- BUILDINGSMART. ***IfcValve***. 2024. Disponível em [https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD1/HTML/schema/ifchvacdomain/lexical/\*IfcValve\*.htm](https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD1/HTML/schema/ifchvacdomain/lexical/<i>IfcValve</i>.htm)
- BUILDINGSMART. ***IfcAxis2Placement3D***. 2024. Disponível em [https://ifc43-docs.standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/lexical/\*IfcAxis2Placement3D\*.htm](https://ifc43-docs.standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/lexical/<i>IfcAxis2Placement3D</i>.htm)
- BUILDINGSMART. ***IfcSpace***. 2024. Disponível em [https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4\\_1/FINAL/HTML/schema/ifcproductextension/lexical/\*IfcSpace\*.htm](https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/schema/ifcproductextension/lexical/<i>IfcSpace</i>.htm)
- BUILDINGSMART. ***IfcAreaMeasure***. 2024. Disponível em [https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2/HTML/schema/ifcmeasureresource/lexical/\*IfcAreameasure\*.htm](https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2/HTML/schema/ifcmeasureresource/lexical/<i>IfcAreameasure</i>.htm)
- BUILDINGSMART. ***Pset\_Address***. 2024. Disponível em [https://ifc43-docs.standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/lexical/\*Pset\\_Address\*.htm](https://ifc43-docs.standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/lexical/<i>Pset_Address</i>.htm)
- BUILDINGSMART. ***Pset\_BuildingUseAdjacent***. 2024. Disponível em [https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2/HTML/schema/ifcproductextension/pset/\*Pset\\_Buildinguseadjacent\*.htm](https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2/HTML/schema/ifcproductextension/pset/<i>Pset_Buildinguseadjacent</i>.htm)

BUILDINGSMART. **Pset\_BuildingCommon**. 2024. Disponível em [https://ifc43-docs.standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/lexical/Pset\\_BuildingCommon.htm](https://ifc43-docs.standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/lexical/Pset_BuildingCommon.htm)

BUILDINGSMART. **Pset\_BuildingUse**. 2024. Disponível em [https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4\\_1/FINAL/HTML/schema/ifcproductextension/pset/pset\\_Buildinguse.htm](https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_1/FINAL/HTML/schema/ifcproductextension/pset/pset_Buildinguse.htm)

BUILDINGSMART. **Pset\_TankTypeCommon**. 2024. Disponível em [https://ifc43-docs.standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/lexical/Pset\\_TankTypeCommon.htm](https://ifc43-docs.standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/lexical/Pset_TankTypeCommon.htm)

BUILDINGSMART. **Pset\_StairCommon**. 2024. Disponível em [https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4\\_3/HTML/lexical/Pset\\_StairCommon.htm](https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_3/HTML/lexical/Pset_StairCommon.htm)

BUILDINGSMART. **IfcRelAssociatesMaterial**. 2024. Disponível em <https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC2x3/TC1/HTML/ifcproductextension/lexical/ifcrelassociatesmaterial.htm>

BUILDINGSMART. **Pset\_RailingCommon**. 2024. Disponível em [https://ifc43-docs.standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/lexical/Pset\\_RailingCommon.htm](https://ifc43-docs.standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/lexical/Pset_RailingCommon.htm)

BUILDINGSMART. **Pset\_LightFixtureTypeSecurityLighting**. 2024. Disponível em [https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2/HTML/schema/ifcelectricaldomain/pset/pset\\_lightfixturetypesecuritylighting.htm](https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2/HTML/schema/ifcelectricaldomain/pset/pset_lightfixturetypesecuritylighting.htm)

BUILDINGSMART. **Pset\_SignCommon**. 2024. Disponível em [https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4\\_3/HTML/lexical/Pset\\_SignCommon.htm](https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4_3/HTML/lexical/Pset_SignCommon.htm)

BUILDINGSMART. **Pset\_ElementSize**. 2024. Disponível em [https://ifc43-docs.standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/lexical/Pset\\_ElementSize.htm](https://ifc43-docs.standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4x3/HTML/lexical/Pset_ElementSize.htm)

BUILDINGSMART. **Pset\_FireSuppressionTerminalTypeFireHydrant**. 2024. Disponível em [https://iaiweb.lbl.gov/Resources/IFC\\_Releases/R2x3\\_final/psd/IfcPlumbingFireProtectionDomain/Pset\\_FireSuppressionTerminalTypeFireHydrant.xml](https://iaiweb.lbl.gov/Resources/IFC_Releases/R2x3_final/psd/IfcPlumbingFireProtectionDomain/Pset_FireSuppressionTerminalTypeFireHydrant.xml)

BUILDINGSMART. **Pset\_PipeSegmentTypeCommon**. 2024. Disponível em [https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/FINAL/HTML/schema/ifchvacdomain/pset/pset\\_pipesegmenttypecommon.htm](https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/FINAL/HTML/schema/ifchvacdomain/pset/pset_pipesegmenttypecommon.htm)

BUILDINGSMART. **Pset\_PipeSegmentOccurrence**. 2024. Disponível em [https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2\\_TC1/HTML/schema/ifchvacdomain/pset/pset\\_pipesegmentoccurrence.htm](https://standards.Buildingsmart.org/IFC/RELEASE/IFC4/ADD2_TC1/HTML/schema/ifchvacdomain/pset/pset_pipesegmentoccurrence.htm)

BUILDINGSMART. **Industry Foundation Classes (IFC)**. 2024. Disponível em <<https://www.Buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/>> Acesso em: 03 out. 2024

BUILDINGSMART. **Part 2 – The UML Model Report**. Common Schema Elements. 2022. Disponível em <[https://f3h3w7a5.rocketcdn.me/wp-content/uploads/2020/06/IR-CS-WP2-UML\\_Model\\_Report\\_Part-2\\_.pdf](https://f3h3w7a5.rocketcdn.me/wp-content/uploads/2020/06/IR-CS-WP2-UML_Model_Report_Part-2_.pdf)> Acesso em: 12 ago. 2023

BUILDINGSMART. **Part 1 – The UML Model Report**. Introduction to the IFC Harmonised Schema Extensions. 2020. Disponível em <[https://www.Buildingsmart.org/wp-content/uploads/2020/06/IR-CS-WP2-UML\\_Model\\_Report\\_Part-1\\_.pdf](https://www.Buildingsmart.org/wp-content/uploads/2020/06/IR-CS-WP2-UML_Model_Report_Part-1_.pdf)> Acesso em: 03 out. 2024

CAI, Yuanzhi et al. Selecting optimal combination of data channels for semantic segmentation in city information modelling (CIM). **Remote Sensing**, v. 13, n. 7, p. 1367, 2021.

CHADZYNSKI, Arkadiusz et al. Semantic 3D City Agents—An intelligent automation for dynamic geospatial knowledge graphs. **Energy and AI**, v. 8, p. 100137, 2022.

CHADZYNSKI, Arkadiusz et al. Semantic 3D City Database—An enabler for a dynamic geospatial knowledge graph. **Energy and AI**, v. 6, p. 100106, 2021. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666546821000574>>

CHARLTON, James et al. Understanding the interoperability of virtual city models in assessing the performance of city centre squares. **Environment and Planning A**, v. 47, n. 6, p. 1298-1312, 2015. Disponível <<https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0308518X15594904>>

CHEN, Qingxiang; CHEN, Jing; HUANG, Wumeng. Visualizing large-scale *Building Information Modeling* models within inDoor and outDoor environments using a semantics-based method. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 10, n. 11, p. 756, 2021.

DA SILVA ALMEIDA, Fernando Antonio; ANDRADE, Max Lira Veras Xavier. Considerações sobre o conceito de City Information Modeling. **InSitu—Revista Científica do Programa de Mestrado Profissional em Projeto, Produção e Gestão do Espaço Urbano**, v. 4, n. 1, p. 21-38, 2018.

DA SILVA AZEVEDO, Leonardo; MIKAMI, Rafael Jansen. Nível de informação (NI) e sua utilização em modelos BIM para projetos e obras públicas. **Revista Técnico-Científica**, 2022.

DA SILVA, Matheus Henrique Dalboni Basílio. **A proposal on LOIN definition of BIM models, aligned with project management tools, for non-Construction related companies**. 2020. 92 f. Dissertação, School of Architecture, Urban Planning and Construction Engineering. Politecnico di Milano. Milão, Itália.

DE AMORIM, Arivaldo Leão. Discutindo *City Information Modeling* (CIM) e conceitos correlatos. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 10, n. 2, p. 87-100, 2015. DOI: <https://doi.org/10.11606/gtp.v10i2.103163>

DE LAAT, Ruben; VAN BERLO, Leon. Integration of BIM and GIS: The development of the *CityGML* GeoBIM extension. **Advances in 3D geo-information sciences**, p. 211-225, 2011.

DELAZARI, L. S., FILHO, L. E., and SKROCH, A. L. S. D.: UFPR *CampusMap*: a laboratory for a Smart City developments, **Abstr. Int. Cartogr. Assoc.**, 1, 57, <https://doi.org/10.5194/ica-abs-1-57-2019>, 2019. Disponível em <<https://ica-abs.copernicus.org/articles/1/57/2019/>>

DENG, Yichuan; CHENG, Jack CP; ANUMBA, Chimay. Mapping between BIM and 3D GIS in different levels of detail using schema mediation and instance comparison. **Automation in Construction**, v. 67, p. 1-21, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.03.006>. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580516300450>

DESKGRAPHICS. **NBR 15965: saiba tudo sobre a primeira norma BIM no Brasil**. Disponível em: < <https://blog.deskgraphics.com.br/nbr-15965-saiba-tudo-sobre-a-primeira-norma-bim-no-brasil/> >. Acesso em 02 de ago. de 2023.

BRASIL. Exército Brasileiro. **Especificação técnica para a estruturação de dados geoespaciais vetoriais de defesa da Força Terrestre (ET-EDGV)**. Brasília, 2017.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: a guide to Building Information Modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. 2. ed. Nova Iorque: John Wiley & Sons, 2011.

EASTMAN, Charles et al. An Outline of the *Building* Description System. **Research Report No. 50**. 1974.

EICKER, Ursula et al. On the design of an urban data and modeling platform and its application to urban district analyses. **Energy and Buildings**, v. 217, p. 109954, 2020.

EL YAMANI, Siham et al. 3D variables requirements for property valuation modeling based on the integration of BIM and CIM. **Sustainability**, v. 13, n. 5, p. 2814, 2021. Disponível em <https://www.mdpi.com/2071-1050/13/5/2814>

ELMASRI, R. e Navathe S. B. **Fundamentals of Database Systems**. In: *Advances in Databases and Information Systems*. Pearson, 2015.

EMARA, Mehad Sayed. Toward a suggested proposed model for the use of *Building Information Modeling* (BIM) in the implementation phase for landscaping. **Ain Shams Engineering Journal**, v. 13, n. 2, p. 101566, 2022. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/354195022\\_Toward\\_a\\_suggested\\_proposed\\_model\\_for\\_the\\_use\\_of\\_Building\\_information\\_modeling\\_BIM\\_in\\_the\\_implementation\\_phase\\_for\\_landscaping](https://www.researchgate.net/publication/354195022_Toward_a_suggested_proposed_model_for_the_use_of_Building_information_modeling_BIM_in_the_implementation_phase_for_landscaping)

ERIKSSON, H.; JOHANSSON, T.; OLSSON, P. O.; ANDERSSON, M.; ENGVALL, J.; HAST, I.; HARRIE, L. Requirements, development, and evaluation of a national building standard—a Swedish case study. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 9, n. 2, p. 78, 2020. DOI: 10.3390/ijgi9020078.

FERNÁNDEZ-ALVARADO, J. F. et al. Proposing a sustainable urban 3D model to minimize the potential risk associated with green infrastructure by applying engineering tools. **Science of The Total Environment**, v. 812, p. 152312, 2022. Disponível em <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34953833/>

FERRÉ-BIGORRA, Jaume; CASALS, Miquel; GANGOLELLS, Marta. The adoption of urban *digital twins*. **Cities**, v. 131, p. 103905, 2022. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264275122003444>>

FORTES, Sergio et al. The campus as a smart city: University of Málaga environmental, learning, and research approaches. **Sensors**, v. 19, n. 6, p. 1349, 2019. Disponível em <<https://www.mdpi.com/1424-8220/19/6/1349>>

FU, Changfeng et al. IFC model viewer to support nD model application. **Automation in Construction**, v. 15, n. 2, p. 178-185, 2006. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926580505000610>>

GIL, Jorge. **City information modelling: A conceptual framework for research and practice in digital urban planning**. Built Environment, v. 46, n. 4, p. 501-527, 2020.

GOODCHILD, Michael F. "Geographic information systems and science: today and tomorrow." **Annals of GIS** 15.1 (2009): 3-9.

GRÖGER, Gerhard; PLÜMER, Lutz. *CityGML*—Interoperable semantic 3D city models. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 71, p. 12-33, 2012.

OPEN GEOSPATIAL CONSORTIUM. **OGC City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard**. 2012. Versão 2.0.0.

HAGHIGHI FARD, Seyed Mohammad; DORATLI, Naciye. Evaluation of Resilience in Historic Urban Areas by Combining Multi-Criteria Decision-Making System and GIS, with Sustainability and Regeneration Approach: The Case Study of Tehran (IRAN). **Sustainability**, v. 14, n. 5, p. 2495, 2022. Disponível em <https://www.mdpi.com/2071-1050/14/5/2495>

HORROCKS, Ian. Ontologies and the semantic web. **Communications of the ACM**, v. 51, n. 12, p. 58-67, 2008.

INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA (IPPUC). **Curitiba 3D**. Disponível em: <<https://geocuritiba.ippuc.org.br/curitiba3d/>>. Acesso em: 27 abr. 2025.

JASTIVE, K. BU Receives NSF Funding to Develop “Smart City” Cloud Platform (Press Release). **Boston University**. Boston. 23 de setembro de 2014. Disponível em <[www.bu.edu/hic/2014/09/23/scope-announce/](http://www.bu.edu/hic/2014/09/23/scope-announce/)>. Acesso em: 21 nov. 2022

IBM. **Classes**. 2024. Disponível em <<https://www.ibm.com/docs/pt-br/rational-soft-arch/9.6.1?topic=diagrams-classes>>

JETLUND, Knut; ONSTEIN, Erling; HUANG, Lizhen. IFC schemas in ISO/TC 211 compliant UML for improved interoperability between BIM and GIS. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 9, n. 4, p. 278, 2020. Disponível em <<https://www.mdpi.com/2220-9964/9/4/278>>

JOVANOVIĆ, Dušan et al. *Building* virtual 3D city model for Smart Cities applications: A case study on campus area of the University of Novi Sad. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 9, n. 8, p. 476, 2020.

KANG, Tae Wook. Object composite query method using IFC and LandXML based on BIM linkage model. **Automation in Construction**, v. 76, p. 14-23, 2017. Disponível em [https://www.researchgate.net/publication/312484056\\_Object\\_composite\\_query\\_method\\_using\\_IFC\\_and\\_LandXML\\_based\\_on\\_BIM\\_linkage\\_model](https://www.researchgate.net/publication/312484056_Object_composite_query_method_using_IFC_and_LandXML_based_on_BIM_linkage_model)

KETZLER, Bernd et al. *Digital twins* for cities: A state-of-the-art review. **Built Environment**, v. 46, n. 4, p. 547-573, 2020. Disponível em <[https://www.researchgate.net/publication/347920058\\_Digital\\_Twins\\_for\\_Cities\\_A\\_State\\_of\\_the\\_Art\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/347920058_Digital_Twins_for_Cities_A_State_of_the_Art_Review)>

KITCHIN, Rob; YOUNG, Gareth W.; DAWKINS, Oliver. Planning and 3D spatial media: Progress, prospects, and the knowledge and experiences of local government planners in Ireland. **Planning theory & practice**, v. 22, n. 3, p. 349-367, 2021. Disponível em <https://kitchin.org/wp-content/uploads/2022/03/PTP-2021-planning-and-3D-spatial-media.pdf>

KOLBE, Thomas H. et al. **OGC City Geography Markup Language (CityGML) Part 1: Conceptual Model Standard**. 2021. Disponível em <<https://docs.ogc.org/is/20-010/20-010.html#BuildingUnit-section>>

KOLBE, Thomas H. Representing and exchanging 3D city models with *CityGML*. In: **3D geo-information sciences**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009. p. 15-31.

KOLBE, Thomas H.; DONAUBAUER, Andreas. **Semantic 3D City Modeling and BIM**. In: Urban Informatics. Springer, Singapore, 2021. p. 609-636.

KUTZNER, Tatjana; CHATURVEDI, Kanishk; KOLBE, Thomas H. *CityGML 3.0*: New functions open up new applications. **PFG–Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science**, v. 88, n. 1, p. 43-61, 2020.

LIMA, Mariana Quezado Costa; FREITAS, Clarissa Figueiredo Sampaio; CARDOSO, Daniel Ribeiro. *City Information Modeling* for urban regulation of squatter settlements

in Fortaleza-Brazil. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 11, 2019. Disponível em <<https://www.scielo.br/j/urbe/a/QmNRjtKm3yG7kWsDzhnMDVJ/abstract/?lang=pt>>

LIU, Xin et al. A state-of-the-art review on the integration of *Building Information Modeling* (BIM) and Geographic Information System (GIS). **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 6, n. 2, p. 53, 2017. Disponível em <<https://www.mdpi.com/2220-9964/6/2/53>>

LU, Qiuchen et al. Developing a digital twin at *Building* and city levels: Case study of West Cambridge campus. **Journal of Management in Engineering**, v. 36, n. 3, p. 05020004, 2020. Disponível em <[https://www.researchgate.net/publication/337008077\\_Developing\\_a\\_dynamic\\_digital\\_twin\\_at\\_Building\\_and\\_city\\_levels\\_A\\_case\\_study\\_of\\_the\\_West\\_Cambridge\\_campus](https://www.researchgate.net/publication/337008077_Developing_a_dynamic_digital_twin_at_Building_and_city_levels_A_case_study_of_the_West_Cambridge_campus)>

LUNARDI, Omar Antonio et al. Aquisição da geometria de dados geoespaciais para a infra-estrutura nacional de dados espaciais (INDE). **CEP**, v. 70, p. 1796, 2009.

MINISTÉRIO DA INDÚSTRIA, COMÉRCIO EXTERIOR E SERVIÇOS. **Estratégia BIM BR. 2018**. Disponível em: <<https://www.gov.br/produtividade-e-comercio-exterior/pt-br/images/REPOSITORIO/sdci/CGMO/26-11-2018-estrategia-BIM-BR-2.pdf>>. Acesso em 03 ago. 2023

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. **Carta brasileira para cidades inteligentes**. 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/desenvolvimento-regional/projeto-andus/carta-brasileira-para-cidades-inteligentes>>. Acesso em 02 ago. 2023

MORETTI, Nicola et al. GeoBIM for built environment condition assessment supporting asset management decision making. **Automation in Construction**, v. 130, p. 103859, 2021. Disponível em <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580521003101>

MULDOON-SMITH, Kevin; GREENHALGH, Paul. Greasing the wheels, or a spanner in the works? Permitting the adaptive re-use of redundant office *Buildings* into residential use in England. **Planning theory & practice**, v. 17, n. 2, p. 175-191, 2016. Disponível em <[https://www.researchgate.net/publication/299357538\\_Greasing\\_the\\_wheels\\_or\\_a\\_spanner\\_in\\_the\\_works\\_Permitting\\_the\\_adaptive\\_re-use\\_of\\_redundant\\_office\\_Buildings\\_into\\_residential\\_use\\_in\\_England](https://www.researchgate.net/publication/299357538_Greasing_the_wheels_or_a_spanner_in_the_works_Permitting_the_adaptive_re-use_of_redundant_office_Buildings_into_residential_use_in_England)>

NAM, Taewoo; PARDO, Theresa A. Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. In: **Proceedings of the 12th annual international digital government research conference: digital government innovation in challenging times**. 2011. p. 282-291.

NBS NATIONAL BIM LIBRARY. **NBS BIM Object Standard**. Version 2.1. 2019. Disponível em: <<https://source.thenbs.com/bimlibrary/nbs-bim-object-standard>>. Acesso em: 03 ago. 2023.

PADILHA, Gabriela; DELAZARI, Luciene Stamato. City information modeling: uma análise exploratória a respeito das tendências, potenciais e desafios. In: **COLÓQUIO**

**BRASILEIRO DE CIÊNCIAS GEODÉSICAS**, 2022, Curitiba. Anais [...]. Curitiba: UFPR, 2022.

PAN, Zeyu; SHI, Jianyong; JIANG, Liu. A novel hdf-based data compression and integration approach to support bim-gis practical applications. **Advances in Civil Engineering**, v. 2020, p. 1-22, 2020.

PARANÁ. **Código de Segurança Contra Incêndio e Pânico do Estado do Paraná**. Lei Estadual nº 19.536, de 28 de janeiro de 2019. Curitiba: Corpo de Bombeiros Militar do Paraná, 2018. Disponível em: CSCIP - CBPMPR (bombeiros.pr.gov.br). Acesso em: 12 set. 2024.

PEREIRA, Ana Paula. **Modelagem da Informação da Construção na fase de projeto: uma proposta de plano de execução BIM para a SUMAI / UFBA**. 2017. 332 p. Tese, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia, Salvador – BA, 2017.

PEREIRA, Augusto Pimentel et al. A descriptive 3D city information model built from infrastructure BIM: Capacity *Building* as a strategy for implementation. **International Journal of E-Planning Research (IJEPR)**, v. 10, n. 4, p. 138-151, 2021.

PEREIRA, Augusto Pimentel; PROCOPIUCK, Mario. A socio-technical perspective on the future of City Information Modelling. **Theoretical and Empirical Researches in Urban Management**, v. 17, n. 2, p. 66-88, 2022.

PETROVA-ANTONOVA, D.; MALINOV, S.; MROSLA, L.; PETROV, A. Towards a Conceptual Model of *CityGML* 3.0 Vegetation ADE. **The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. XLVIII-4/W10-2024, p. 155–161, 2024. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W10-2024-155-2024.

PINHO, Sérgio Miguel Ferreira de. **O modelo IFC como agente de interoperabilidade: aplicação ao domínio das estruturas**. 2013. Dissertação (Mestrado integrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, 2013.

PORTLAND STATE UNIVERSITY. **What is a smart city?**. 2022. Disponível em <<http://www.pdx.edu/digital-city/what-smart-city>> Acesso em: 21 nov. 2022

PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO. **Reviver Centro**. Disponível em: <<https://reviver-centro-pcrj.hub.arcgis.com/>>. Acesso em: 27 abr. 2025.

PREFEITURA MUNICIPAL DE SÃO PAULO. **Sistema de Consulta do Mapa Digital da Cidade de São Paulo**. Disponível em: [https://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/\\_SBC.aspx](https://geosampa.prefeitura.sp.gov.br/PaginasPublicas/_SBC.aspx). Acesso em: 27 abr. 2025.

SAEIDIAN, B.; RAJABIFARD, A.; ATAZADEH, B.; KALANTARI, M. A semantic 3D city model for underground land administration: Development and implementation of an

ADE for *CityGML 3.0. Tunnelling and Underground Space Technology*, v. 140, p. 105267, 2023. DOI: 10.1016/j.tust.2023.105267.

SALES, T. Vigiar e prevenir: conceito de *Smart Campus* usa tecnologia para tornar a Universidade mais segura. **Jornal da USP**. São Paulo. 27 de outubro de 2021. Disponível em <[www.jornaldocampus.usp.br/index.php/2021/10/vigiar-e-prevenir-conceito-de-smart-campus-usa-tecnologia-para-tornar-a-universidade-mais-segura/](http://www.jornaldocampus.usp.br/index.php/2021/10/vigiar-e-prevenir-conceito-de-smart-campus-usa-tecnologia-para-tornar-a-universidade-mais-segura/)>. Acesso em: 21 nov. 2022

SANTOS, Denis Leonardo. **Integração de padrões para a modelagem de dados de referência tridimensionais**. 2021.

SIG3D. **Special Interest Group 3D**. 2024. Disponível em <https://www.sig3d.org>. Acesso em 03 de 09 de 2024

SIMONELLI, Laís. **Uma contribuição à modelagem da informação da cidade: construção de um modelo geométrico e semântico em LOD1 e LOD2 para o Pelourinho, Salvador-BA**. 2022. 195 p. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia, Salvador – BA, 2022.

SPBIM. **O que é o “OmniClass”?**. Disponível em:<<https://spbim.com.br/o-que-e-o-omniclass/>> Acesso em: 03 ago. 2023.

STARK, R., DAMERAU, T. Digital Twin. In: **Chatti, S., Tolio, T. (eds) CIRP Encyclopedia of Production Engineering**. 2019. Springer, Berlin, Heidelberg. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-35950-7\\_16870-1](https://doi.org/10.1007/978-3-642-35950-7_16870-1)

STOJANOVSKI, Todor. *City Information Modeling (CIM) and Urbanism: blocks, connections, territories, people and situations*. In: **Proceedings of the Symposium on Simulation for Architecture & Urban Design**. 2013. p. 1-8.

THOMPSON, Emine Mine et al. Planners in the future city: Using city information modelling to support planners as market actors. **Urban Planning**, v. 1, n. 1, p. 79-94, 2016.

WINTER, Stephan; TOMKO, Martin. Beyond *digital twins*—A commentary. **Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science**, v. 46, n. 2, p. 395-399, 2019.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. **Lista de alto risco da Administração Pública Federal**. 2022. Disponível em: <[https://sites.tcu.gov.br/listadealtorisco/gestao\\_do\\_patrimonio\\_imobiliario\\_publico\\_federal.html](https://sites.tcu.gov.br/listadealtorisco/gestao_do_patrimonio_imobiliario_publico_federal.html)>. Acesso em 03 ago. 2023.

UFCG. **Smart Campus UFCG**. 2022. Disponível em <<https://smartcampus.ufcg.edu.br>>. Acesso em: 21 nov. 2022

UFPR. **CEPAG-UFPR**. 2022. Disponível em <<http://cepag.ufpr.br>> Acesso em: 21 nov. 2022

UFPR. **UFPR Campus Map**. 2022. Disponível em <<https://CampusMap.ufpr.br>>. Acesso em: 21 nov. 2022

UFRN. **Smart Campus IMD UFRN**. 2022. Disponível em <<https://smartcampus.imd.ufrn.br>>. Acesso em: 21 nov. 2022

UNB. **Smart Campus UNB**. 2022. Disponível em <<https://smartcampusunb.com.br>>. Acesso em: 21 nov. 2022

UNICAMP. **Atlas da Unicamp**. 2022. Disponível em <<https://atlas-unicamp-arcgis.hub.arcgis.com>>. Acesso em: 21 nov. 2022

UNICAMP. **Smart Campus Unicamp**. 2022. Disponível em <[smartcampus.prefeitura.unicamp.br](http://smartcampus.prefeitura.unicamp.br)>. Acesso em: 21 nov. 2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. **Relatório de Gestão do Exercício de 2017**. Curitiba. 2017. Disponível em <[www.proplan.ufpr.br/portal/rel\\_gestao/relatorio\\_gestao\\_ufpr\\_2017.pdf](http://www.proplan.ufpr.br/portal/rel_gestao/relatorio_gestao_ufpr_2017.pdf)> Acesso em: 21 nov. 2022

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. **Relatório de Gestão do Exercício de 2023**. Curitiba. 2024. <[www.proplan.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2024/03/Relatorio\\_de\\_Gestao\\_2023.pdf](http://www.proplan.ufpr.br/portal/wp-content/uploads/2024/03/Relatorio_de_Gestao_2023.pdf)> Acesso em: 01 out. 2024.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. **Resolução Nº 60/2019-COPLAD**. Regimento da Superintendência de Infraestrutura da Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2021. <<https://soc.ufpr.br/wp-content/uploads/2021/12/RESOLUÇÃO-Nº-60-2019-COPLAD.pdf>> Acesso em: 01 out. 2024.

UNIVERSITY OF BIRMINGHAM. **The Smart Campus**. 2022. Disponível em <<http://www.birmingham.ac.uk/documents/university/smart-campus/the-smart-campus.pdf>> Acesso em: 21 nov. 2022.

USMART. **University of Utah Smart Campus**. 2022. Disponível em <<http://usmart.ece.utah.edu/smart-campus/>>. Acesso em: 21 nov. 2022

VAN DER BRINK, L.; STOTER, J.; ZLATANOVA, S. Modeling an application domain extension of *CityGML* in UML. **ISPRS International Archives of the Photogrammetry**, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. XXXVIII-4/C26, p. 11–14, 2012. DOI: 10.5194/isprsarchives-XXXVIII-4-C26-11-2012.

VAN NEDERVEEN, G. A.; TOLMAN, F. P. Modelling multiple views on *Buildings*. **Automation in Construction**, v. 1, n. 3, p. 215-224, 1992.

WHITE, Gary et al. A digital twin smart city for citizen feedback. **Cities**, v. 110, p. 103064, 2021. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264275120314128>>

WORLD ECONOMIC FORUM. **Digital Twin Cities: Framework and Global Practices. Insight Report**. 2022. Disponível em <

[https://www3.weforum.org/docs/WEF\\_Global\\_Digital\\_Twin\\_Cities\\_Framework\\_and\\_Practice\\_2022.pdf](https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Digital_Twin_Cities_Framework_and_Practice_2022.pdf)> Acesso em: 07 ago. 2023.

XU, Zhen et al. City Information Modeling: State of the Art. **Applied Sciences**, v. 11, n. 19, p. 9333, 2021. DOI: <https://doi.org/10.3390/app11199333>.

XUE, Fan; WU, Liupengfei; LU, Weisheng. Semantic enrichment of *Building* and city information models: A ten-year review. **Advanced Engineering Informatics**, v. 47, p. 101245, 2021.

YAO, Zhihang et al. 3DCityDB-a 3D geodatabase solution for the management, analysis, and visualization of semantic 3D city models based on *CityGML*. **Open Geospatial Data, Software and Standards**, v. 3, n. 1, p. 1-26, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40965-018-0046-7>