



UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA
FACULDADE DE ARQUITETURA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ARQUITETURA E URBANISMO

ROBERTA PINTO TELES

**INTEGRAÇÃO DE DADOS EM UM MODELO CITYGML PARA
AUXILIAR A GESTÃO DE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO:
UMA APLICAÇÃO**

Salvador
2024

ROBERTA PINTO TELES

**INTEGRAÇÃO DE DADOS EM UM MODELO CITYGML PARA
AUXILIAR A GESTÃO DE SISTEMAS DE ILUMINAÇÃO:
UMA APLICAÇÃO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia como parte dos requisitos para obtenção do título de doutora em Arquitetura e Urbanismo.

Orientador: Prof. Dr. Arivaldo Leão de Amorim

**Salvador
2024**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Universidade Federal da Bahia (UFBA)
Sistema Universitário de Bibliotecas (SIBI)
Biblioteca da Faculdade de Arquitetura (BIB/FA)**

T269

Teles, Roberta Pinto.

Integração de dados em um modelo CityGML para auxiliar a gestão de sistemas de iluminação [recurso eletrônico] : uma aplicação / Roberta Pinto Teles. – Salvador, 2024.

219 p. : il.

Tese – Universidade Federal da Bahia, Faculdade de Arquitetura, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, Doutorado em Arquitetura e Urbanismo. 2024.

Orientador: Prof. Dr. Arivaldo Leão de Amorim

1. Iluminação. 2. Padrão CityGML. 3. Modelo operacional.
I. Amorim, Arivaldo Leão de. II. Universidade Federal da Bahia. Faculdade de Arquitetura. III. Título.

CDU: 628.9

Responsável técnico: Jeã Carlo Madureira - CRB/5-1531



ATA DA SESSÃO DE DEFESA DE TESE DE DOUTORADO EM ARQUITETURA E URBANISMO DA DOUTORANDA
ROBERTA PINTO TELES

Ao vigésimo quarto dia do mês de abril de dois mil e vinte e quatro, reuniu-se por convocação do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, a comissão composta pelos professores doutores Arivaldo Leão de Amorim, Érica de Sousa Checcucci, Fábio Macedo Velame, Natalei Johanna Groetelaars, Emerson de Andrade Marques Ferreira e Mauro José Alixandrini Júnior, sob a presidência do primeiro, na qualidade de orientador da tese, para proceder ao exame do trabalho apresentado pela doutoranda **ROBERTA PINTO TELES** intitulado "**Integração de dados em um modelo CityGML para auxiliar a gestão do sistema de iluminação: uma aplicação**".

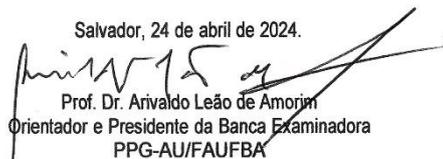
O ato teve início às 14:00 horas, tendo sido concedido à doutoranda cinquenta (50) minutos para exposição resumida dos conteúdos do seu trabalho. De acordo com as normas que regulam a matéria, cada examinador fez suas observações e levantou questões, que foram respondidas pela candidata.

Concluído o exame, os professores atribuíram as seguintes indicações:

Prof. Dr. Arivaldo Leão de Amorim	APROVADA COM DISTINÇÃO
Prof. Dra. Érica de Sousa Checcucci	APROVADA COM DISTINÇÃO
Prof. Dr. Fábio Macedo Velame	APROVADA COM DISTINÇÃO
Prof. Dra. Natalei Johanna Groetelaars	APROVADA COM DISTINÇÃO
Prof. Dr. Emerson de Andrade Marques Ferreira	APROVADA COM DISTINÇÃO
Prof. Dr. Mauro José Alixandrini Júnior	APROVADA COM DISTINÇÃO

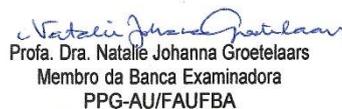
Com o que se julgou a doutoranda **APROVADA COM DISTINÇÃO**, sendo recomendado ao Colegiado de Curso deste Programa de Pós-Graduação que seja concedido à **ROBERTA PINTO TELES** o grau de Doutor em Arquitetura e Urbanismo.

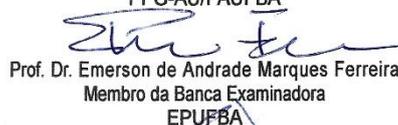
Salvador, 24 de abril de 2024.

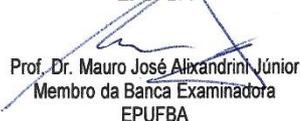

Prof. Dr. Arivaldo Leão de Amorim
Orientador e Presidente da Banca Examinadora
PPG-AU/FAUFBA


Profa. Dra. Érica de Sousa Checcucci
Membro da Banca Examinadora
PPG-AU/FAUFBA


Prof. Dr. Fábio Macedo Velame
Membro da Banca Examinadora
PPG-AU/FAUFBA


Profa. Dra. Natalei Johanna Groetelaars
Membro da Banca Examinadora
PPG-AU/FAUFBA


Prof. Dr. Emerson de Andrade Marques Ferreira
Membro da Banca Examinadora
EPUFBA


Prof. Dr. Mauro José Alixandrini Júnior
Membro da Banca Examinadora
EPUFBA

Dedico este trabalho aos **meus pais, Eivaldo e Cordélia**, pelo apoio e amor incondicional que sempre me deram durante toda a minha vida.

A **Thiago e Lara, filhos maravilhosos**, obrigada por fazerem parte da minha vida. Sem vocês, nada disso faria sentido.

A **Gibran**, pela paciência, **amor** e dedicação nos momentos mais difíceis, sempre me dizendo que eu seria capaz.

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos a todos que fizeram parte desta longa caminhada, me apoiando, incentivando, colaborando e dando força para continuar, em especial:

Ao querido professor **Arivaldo Leão de Amorim**, pela orientação, dedicação, paciência e conhecimento compartilhado ao longo desses longos anos de amizade. Obrigada pela disponibilidade e acolhimento de sempre, por seu exemplo e inspiração.

Aos **pesquisadores** que gentilmente disponibilizaram trabalhos de sólida base de conhecimentos, contribuindo com o desenvolvimento desta pesquisa.

Às professoras **Érica Checcucci** e **Natalie Groetelaars**, e professores **Mauro José Alixandrini**, **Emerson Ferreira** e **Fábio Velame** componentes da banca examinadora pelas valiosas contribuições, sugestões e críticas.

Aos **colegas e amigos** do **LCAD** e **colegas** do **PPGAU** por tornarem essa jornada mais leve e animada, apesar de tantos momentos difíceis.

Ao **LCAD** e seus coordenadores pelo apoio, cursos de extensão e espaço disponibilizados.

Ao Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, pelo apoio recebido. Em especial a Maria pela cordialidade e acolhimento que sempre me atendeu na secretaria.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoas de Nível Superior (**CAPES**) pela bolsa concedida.

À SUMAI e seus colaboradores pela disponibilidade durante a pesquisa, Eng. Eletricista **João Ramos** e **Carlos Tadeu**, Arquitetos **Cezar Chamusca** e **Pablo Barreto**, ao Eletricista **Sr. Genebaldo** e ao **Prof. Fábio Velame**.

Às empresas **SuperMap** e **FME** pela concessão da licença dos softwares durante a pesquisa.

À equipe da **Geoespaço** pelo suporte técnico e apoio necessário ao desenvolvimento da aplicação. Ao querido **Pedro Beghelli** (*in memoriam*) e em especial aos amigos **Prof. Rogério Sousa** e **Sebastião Neto** que muitas vezes deixaram seus afazeres para me atenderem sempre com muito carinho e atenção, a minha gratidão.

À **Faufba** que através do Diretor **Prof. Fábio Velame** intermediou o apoio da STI para hospedar a aplicação. Agradeço aos colaboradores envolvidos no processo.

À minha **família**, sinônimo de união, e aos **amigos** pelo apoio e incentivo.

Sou grata a **Deus** por minha vida e pelas pessoas especiais no meu caminho.

TELES, Roberta Pinto. **Integração de dados em um modelo CityGML para auxiliar a gestão de sistemas de iluminação**: uma aplicação. 2024. 219 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2024.

RESUMO

Com o crescimento das cidades, surgem desafios e a necessidade de implementação de infraestrutura para atender a essa expansão. A infraestrutura é composta por componentes físicos e serviços setorizados que formam redes essenciais para o funcionamento de um país. Diante da dimensão desse setor, faz-se necessária a organização das informações da cidade, apoiada em soluções tecnológicas integradas, com sistematização e ordenamento dos processos urbanos, servindo de base para as tomadas de decisão. O presente trabalho tem como objetivo geral desenvolver um modelo operacional para auxiliar na gestão da rede de iluminação pública do Campus Federação Ondina (CFO) da Universidade Federal da Bahia (UFBA), utilizando o padrão CityGML. Para alcançar este objetivo, a pesquisa se propôs a explorar as potencialidades das tecnologias existentes que pudessem otimizar a gestão do sistema de iluminação pública, permitindo um processo de tomada de decisão com base em informações precisas, de acordo aos princípios e diretrizes do *Facilities Management* (FM). Além disso, o estudo apresentou e analisou as aplicações que adotam o padrão CityGML na gestão de sistemas de iluminação pública, bem como identificou ferramentas e metodologias que possam ser adotadas para o desenvolvimento do modelo CityGML. A pesquisa configurou-se como qualitativa de caráter exploratório, visando aprofundar processos complexos e pouco explorados, como é o caso da utilização da tecnologia *Facilities Management* na gestão de infraestrutura. Além disso, foi empregada a estratégia de pesquisa experimental, submetendo o objeto de estudo à influência de variáveis definidas entre o espaço físico e componentes do sistema de iluminação pública. O levantamento de dados foi realizado junto à SUMAI e, em seguida, o desenvolvimento da aplicação se deu em quatro etapas: a entrada de dados no sistema, a modelagem geométrica e semântica, o processamento de dados e a conversão nos formatos CityGML e CityJson, para posterior realização de testes de validação, visualização e edição. Durante o desenvolvimento foram utilizados diversos softwares, como SuperMap, FME, Val3dity, SketchUp, AutoCAD e QGIS. A gestão do sistema de iluminação pública envolve diversos elementos, incluindo planejamento estratégico, expansão, operação, manutenção, gestão de ativos, segurança e adoção de tecnologias avançadas. Diante da complexidade e extensão do campus, aliada ao interesse em aprofundar o conhecimento sobre a tecnologia CIM e demais tecnologias que dão suporte, optou-se por desenvolver um modelo operacional para auxiliar na gestão do sistema de iluminação pública. Os resultados estão descritos nas etapas 3 e 4. Na etapa 3, foi desenvolvido um modelo geométrico e semântico do CFO com estimativas do consumo de energia elétrica por tipo de poste. Já a etapa 4 descreve o desenvolvimento do modelo geométrico e semântico do CFO no padrão CityGML. Como contribuição destaca-se a utilização de um processo mais automatizado para desenvolver o modelo, a utilização de diferentes módulos do CityGML, a metodologia para girar os postes e a análise dos desafios enfrentados, como a consistência, a padronização, a qualidade dos dados, a interoperabilidade, a manutenção e gestão dos dados e a implementação de novas tecnologias. É crucial considerar a complexidade envolvida na avaliação e gestão das infraestruturas urbanas e desenvolver um modelo que atenda às necessidades inerentes a esse processo.

Palavras-chave: Modelagem da Informação da Cidade. Padrão CityGML. Modelo Operacional. Gestão do Sistema de Iluminação. Modelo Geométrico e Semântico de Cidade.

TELES, Roberta Pinto. **Data integration into a CityGML model to assist lighting management systems**: an application. 2024. 219 f. Thesis – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2024.

ABSTRACT

As cities grow, they face challenges and the need to implement infrastructure to meet this expansion. Infrastructure consists of physical components and sectorized services that form essential networks for a country's operation. Given the scale of this sector, organizing city information supported by integrated technological solutions becomes necessary, with systematization and ordering of urban processes serving as the basis for decision-making. This study aims to develop an operational model to assist in managing the public lighting network of the Federal University of Bahia's Campus Federação Ondina (CFO) using the CityGML standard. To achieve this goal, the research aimed to explore the potential of existing technologies that could optimize public lighting system management, enabling decision-making based on precise information in line with Facilities Management (FM) principles and guidelines. Additionally, the study presented and analyzed applications adopting the CityGML standard in public lighting system management, as well as identified tools and methodologies for developing the CityGML model. The research was qualitative and exploratory in nature, seeking to delve into complex and underexplored processes, such as the use of Facilities Management technology in infrastructure management. Moreover, as experimental research strategy was employed, subjecting the study object to defined variable influences between physical space and public lighting system components. Data collection was carried at SUMAI, followed by application development in four stages: data entry into the system, geometric and semantic modeling, data processing, and conversion into CityGML and CityJson formats for subsequent validation testing, visualization, and editing. Various software were used during development, including SuperMap, FME, Val3dity, SketchUp, AutoCAD, and QGIS. Public lighting system management involves various elements such as strategic planning, expansion, operation, maintenance, asset management, security, and adoption of advanced technologies. Due to the campus's complexity and extent and interest in deepening knowledge about CIM technology and other supporting technologies, an operational model was developed to assist in public lighting system management. The results are described in stages 3 and 4. In stage 3, a geometric and semantic model CFO with estimates of electricity consumption by pole type was developed. Stage 4 describes the development of the geometric and semantic model of CFO in the CityGML standard. The contribution highlights the use of a more automated process for model development, different CityGML modules utilization, pole rotation methodology, and analysis of challenges faced such as data consistency, standardization, data quality, interoperability, data maintenance and management, and new technology implementation. It is crucial to consider the complexity involved in evaluating and managing urban infrastructures and develop a model that meets the inherent needs of this process.

Keywords: City Information Modeling. CityGML standard. Operational Model. Lighting System Management. Geometric and Semantic City Model.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sistemas de Infraestrutura.....	19
Figura 2 - <i>City Information Modeling</i>	21
Figura 3 - Exemplos de fluxos de um campus universitário.....	24
Figura 4 - Desenvolvimento do experimento.....	37
Figura 5 - Smart City.....	43
Figura 6 - Exemplo da distinção entre o MDS e o MDT.....	50
Figura 7 - Visualização do modelo geométrico e semântico da Cidade de New York.....	55
Figura 8 - Sensor para observar as variações de temperatura.....	56
Figura 9 - Aplicação em Landkreis Luwigsburg.....	57
Figura 10 - Aplicação no Brooklyn.....	58
Figura 11 – Aplicação no município de Wüstenrot (Alemanha).....	58
Figura 12 - Os cinco níveis de detalhes para edificações do CityGML 2.0.....	60
Figura 13 - Duas variantes de LOD2.....	61
Figura 14 - Representação da mesma edificação nos Níveis de Detalhe 0-3.....	62
Figura 15 – Desafios e possíveis soluções da utilização dos modelos numéricos 3D de cidade.....	63
Figura 16 - Geometria não encaixada.....	67
Figura 17 - Semântica inconsistente.....	67
Figura 18 - Os 32 códigos de erro do Val3dity.....	69
Figura 19 - Módulos do CityGML.....	74
Figura 20 - Módulo Conceitual CityGML 3.0.....	75
Figura 21 - Resultado da estimativa de demanda de aquecimento das edificações.....	77
Figura 22 - Atlas de energia - níveis de tomadas de decisão.....	78
Figura 23 - Projeto Atlas de Energia de Berlim: núcleo e campos de atuação.....	78
Figura 24 - Correlação entre a edificação e as características e valores de consumo.....	79
Figura 25 - Seção do modelo UML da extensão da CityGML para gestão de instalações.....	80
Figura 26 - Produtos do software SuperMap GIS 2022.....	84
Figura 27 – Visualização 2D e 3D.....	87
Figura 28 – Efeito da sobreposição de edificações em 3D em fotografia oblíqua.....	88
Figura 29 - BIM / FM.....	95
Figura 30 - Método de implementação BIM / FM.....	97
Figura 31 – Complexidade dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG).....	99
Figura 32 - Sistemas de monitoramento das redes de eletricidade.....	105
Figura 33 - Ciclo <i>Plan-Do-Check-Act</i> (PDCA).....	107
Figura 34 - Hierarquia das redes no contexto do fornecimento de energia.....	113
Figura 35 - Comparação das abordagens comuns de modelagem do uso de energia.....	114
Figura 36 - Gráfico do IGG2021: Governança Pública Organizacional.....	122
Figura 37 - Praça Cívica Campus Ondina (UFBA).....	124
Figura 38 - Organograma da UFBA.....	125
Figura 39 - Mapa da área de estudo.....	130
Figura 40 – Infraestrutura principal do CFO.....	135
Figura 41 - Infraestrutura da UFBA.....	137
Figura 42 - Instalações elétricas da iluminação pública do CFO.....	138
Figura 43 - Sistema de alimentação em anéis.....	140
Figura 44 – Exemplo de poste do sistema de iluminação pública da UFBA.....	142
Figura 45 - Postes do CFO.....	144
Figura 46 - Fluxo de trabalho do experimento.....	149

Figura 47 – Fluxograma da Etapa 1	152
Figura 48 - Especificações de componentes do sistema de iluminação pública	153
Figura 49 - Projeto de iluminação pública do Campus Federação Ondina (detalhes)	154
Figura 50 - Distribuição dos postes de um trecho do CFO	155
Figura 51 – P04_ Google Earth/Street view x Projeto Distribuição de postes CFO.....	156
Figura 52 - Postes 1 e 2 no AutoCAD.....	157
Figura 53 - Postes 3 e 4 no AutoCAD.....	157
Figura 54 - Postes 5 e 6 no AutoCAD.....	158
Figura 55 - Postes modelados no SketchUp.....	159
Figura 56 – Informações semânticas associadas aos postes.....	159
Figura 57 - Imperfeições da modelagem inicial dos postes	160
Figura 58 - Simplificação dos postes e caixas de passagem.....	160
Figura 59 - Mapeamento Cartográfico de Salvador.....	161
Figura 60 - Visualização da área recortada do CFO, no SuperMap.....	162
Figura 61 – Fluxograma da Etapa 2	163
Figura 62 - Interface do SuperMap iDesktop 10i.....	164
Figura 63 – Comparativo: plantas e imagem do Google Earth em épocas diferentes	165
Figura 64 - "Postes rotacionados" com georreferenciamento e atributos.....	166
Figura 65 – Junção da ortofoto e topografia do <i>campus</i>	167
Figura 66 - Atributo do P3	168
Figura 67 - Locação de postes na ortofoto do CFO	168
Figura 68 - Componentes que indicam a direção e localização do poste	169
Figura 69 – SuperMap iDesktop 10i: localização espacial do terreno a ser trabalhado.....	171
Figura 70 - Inserção das edificações na cena.....	172
Figura 71 - Edificações.....	172
Figura 72 - Eixo de rotação dos postes	173
Figura 73 – Informações do poste: localização, rotação etc.	173
Figura 74 – Visualização dos postes 3D na cena.....	174
Figura 75 - Cena 1 e Cena 2	175
Figura 76 – Fluxograma da Etapa 3	176
Figura 77 – Estimativa de consumo de energia poste tipo 4 em jan. 2020 / 2021 / 2022	181
Figura 78 - Fluxograma da etapa 4.....	184
Figura 79 - FME Data Inspector: modelo geométrico e semântico do CFO em CityJson	185
Figura 80 - FME Data Inspector – visualização das informações semânticas.....	186
Figura 81 - Detalhe do Poste tipo 1 no módulo <i>CityFurniture</i> do FME	187
Figura 82 – Módulo Workbench do FME	188
Figura 83 – FME: visualização do modelo geométrico e semântico do CFO	190
Figura 84 – FME: visualização do detalhe do poste tipo 4, em formato CityGML	190
Figura 85 - FZKViewer: visualização do modelo geométrico e semântico do CFO	191

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Algumas aplicações utilizando modelo numérico 3D de cidade	52
Quadro 2 - Recursos suportados pelos padrões: CityGML e CityJson	66
Quadro 3 - Ferramentas que apoiam a produção/uso de modelos em CityGML.....	83
Quadro 4 - Características dos produtos do SuperMap	85
Quadro 5 - Serviços de <i>facility</i>	91
Quadro 6 - Ferramentas de simulação do uso de energia elétrica no meio urbano	115
Quadro 7 - Índices de governança e gestão públicas.....	123
Quadro 8 - Indicadores de custo de manutenção e reforma.....	127
Quadro 9 - Caracterização da área física da UFBA	127
Quadro 10 - Infraestrutura da UFBA.....	128
Quadro 11 - Listagem das unidades / acessos do CFO da UFBA	130
Quadro 12 - Núcleos de serviços da SUMAI.....	133
Quadro 13 – Alguns postes do CFO cadastrados pela COELBA, em 2021	143
Quadro 14 - Poste telefônico reto	155
Quadro 15 - Lista dos tipos de postes	170
Quadro 16 - Histórico de consumo Iluminação Pública Subestação 1, Ondina.....	176
Quadro 17 - Potência das lâmpadas de vapor metálico e LED por poste	179
Quadro 18 - Legenda com informações do consumo diário dos postes do CFO	179
Quadro 19 – Estimativa de consumo de energia por tipo de poste (jan. 2020)	180
Quadro 20 – Estimativa de consumo de energia por tipo de poste (nov. 2021)	181
Quadro 21 - Validação do arquivo unificado - CFO_UFBA.JSON	189
Quadro 22 - Vantagens dos softwares trabalhados	194
Quadro 23 - Limitações dos softwares trabalhados	195
Quadro 24 - Vantagens e limitações da aplicação	196
Quadro 25 - Comparação entre as etapas 3 e 4 da aplicação.....	196

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADE	<i>Application Domain Extension</i>
AECO	Arquitetura Engenharia Construção e Operação
ALS	<i>Aerial Laser Scanning</i>
API	<i>Application Programming Interface</i>
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
B-Rep	<i>Boundary Representation</i>
CACE	Comissão para Assuntos de Conservação de Energia
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
CAFM	<i>Computer-Aided Facility Management</i>
CBES API	Software de apoio à plataforma CityBES
CBGE	Classes Base do Mapeamento Topográfico
CCF	Coordenação de Contabilidade e Finanças
CDGV	Conjunto de Dados Geoespaciais Vetoriais
CDH	Coordenação de Desenvolvimento Humano
CETEL	Central Telefônica
CFD	<i>Computacional Fluid Dynamics</i>
CFO	Campus Federação Ondina
CI	<i>Complex Indicators</i>
CIENAM I e II	Centro Interdisciplinar de Energia e Ambiente I e II
CIM	<i>City Information Modeling</i>
CityBES	<i>City Building Energy Saver</i>
CityGML	<i>City Geography Markup Language</i>
CityJSON	<i>City JavaScript Object Notation</i>
COELBA	Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia
COLLADA	<i>Collaborative Design Activity</i>
CPD	Centro de Processamento de Dados
CSG	<i>Construtive Solid Geometry</i> / Geometria Sólida Construtiva
CSV	<i>Comma Separated Values</i> / Valores Separados por Vírgulas
DBMS	<i>Database Management System</i>
DIM	Divisão de Materiais, atualmente CMP
DMS	<i>Distribution Management System</i>
DSM	<i>Dense Stereo Matching</i>
DXF	<i>Drawing Exchange Format</i>
EDUFBA	Editora da Universidade Federal da Bahia
EI	<i>Elementares Indicators</i>
EMS	<i>Energy Management System</i>

ESRI	Environmental Systems Research Institute, Inc.
ETA	Escritório Técnico Administrativo
EUA	Estados Unidos da América
FAUFBA	Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia
FBX	<i>Autodesk Filmbox format</i>
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FJP	Fundação João Pinheiro
FM	<i>Facility Management</i>
FME	Feature Manipulation Engine
FNDCT	Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
GBXML	<i>Green Building XML</i>
GEOBIM	Integração de informações geoespaciais com BIM
GIM	<i>General Indicator Model</i>
GIS	<i>Geographic Information System</i>
GIS SDK	<i>Geographic Information System Software Development KIT</i>
gITF	<i>Graphics Language Transmission Format or GL Transmission Format</i>
GPS	<i>Global Position System</i>
HVDC	<i>High Voltage Direct Current</i> ou Corrente Contínua de Alta Tensão
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICI	Instituto de Ciência da Informação
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i>
IGEO	Instituto de Geociências da Universidade Federal da Bahia
IGG	Índice de Governança e Gestão
IndoorGML	Linguagem de modelagem para representar dados espaciais de ambientes internos
INSPIRE	Infrastructure for Spatial Information in the European Community
IOT	<i>Internet of Things</i>
ISP	Instituto do Servidor Público, atualmente SEAD
JSON <i>format</i>	<i>JavaScript Object Notation</i>
KIT	Karlsruhe Institute of Technology
KML	<i>Keyhole Markup Language</i>
LADM	<i>Land Administration Domain Model</i>
LandXML	Formato de arquivo não proprietário de dados XML (<i>Extensible Mark-up Language</i>) especializado em dados de engenharia civil
LCAD	Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LFNA	Laboratório de Física Nuclear Aplicada
LIDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
LOD	<i>Level of Detail</i>
MDS	Modelo Digital de Superfície

MDT	Modelo Digital de Terreno
MEC	Ministério da Educação
MME	Ministério de Minas e Energia
NURBS	<i>Non-Uniform Rational B-Splines</i>
NYC	New York City
OBJ	<i>Object File Wavefront 3D</i>
OFF	<i>Formato Object File Format</i>
OGC	Open Geospatial Consortium
OS	Ordem de Serviço
PAF I	Pavilhão de Aulas Reitor Felipe Serpa
PAF II	Pavilhão de Aulas da Federação II
PAF III	Pavilhão de Aulas Glauber Rocha
PAF IV	Pavilhão de Aulas IV – Centro de Idiomas
PAF V	Pavilhão de Aulas da Federação V
PAF VI	Pavilhão de Aulas da Federação VI
PDCA	<i>Plan-Do-Check-Act</i>
PDE	Plano de Desenvolvimento da Educação
PDI	Plano de Desenvolvimento Institucional
PIB	Produto Interno Bruto
PipelineML	<i>Pipeline Markup Language</i>
PNE	Plano Nacional de Educação
PostGIS	<i>Post Geographic Information Systems</i>
PPG-AU	Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Bahia
PROAD	Pró-reitoria de Administração
PRODEP	Pró-reitoria de Desenvolvimento de Pessoas
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
QGIS	Quantum GIS
RDF	<i>Resource Description Framework</i>
REUNI	Reestruturação e Expansão das Universidades Federais
RU	Restaurante Universitário
RVT	<i>Revit Format</i>
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SAR	<i>Synthetic Aperture Radar</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
SEAD	Superintendência de Educação a Distância
SEDRIS	Synthetic Environment Data Representation and Interchange Specification
SGA	Sistema de Gestão Ambiental
Shapefile	<i>Digital vector storage format (SHP)</i>
SIG	Sistema de Informação Geográfica

SIG2D	Sistema de Informação Geográfica 2D
SIG3D	Sistema de Informação Geográfica 3D
SIRGAS2000	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas do ano 2000
SLS	Semestre Letivo Suplementar
SMURB	Serviço Médico Universitário Rubens Brasil Soares da UFBA
SPU	Secretaria de Patrimônio da União
STI	Superintendência de Tecnologia da Informação
SUMAI	Superintendência de Meio Ambiente e Infraestrutura
TCU	Tribunal de Contas da União
TI	Tecnologia da Informação
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação
TLS	<i>Terrestrial Laser Scanning</i>
TUM	Technische University München
UBEM	<i>Urban Building Energy Modeling</i> / Modelagem de Energia de Construção Urbana ou Modelo de Energia de Construção Urbana
UFBA	Universidade Federal da Bahia
UMI	<i>Urban Modeling Interface</i>
UML	<i>Unified Modeling Language</i>
UTM	<i>Universal Transverse Mercator</i>
Val3dity	<i>Validation of 3D Geospatial Data</i>
WFS	<i>Web Feature Service</i> / Serviço de recurso da <i>web</i>
WMS	<i>Web Map Service</i> / Serviço de mapa da <i>web</i>
WMTS	<i>Web Map Tile Service</i> / Visualização dinâmica e interativa de dados geoespaciais
XML	<i>eXtensible Markup Language</i>
3DCityDB	<i>3D City Database</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	18
1.1	ANTECEDENTES	27
1.2	CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA E DO PROBLEMA DE PESQUISA	28
1.3	JUSTIFICATIVA	31
1.4	OBJETIVOS.....	35
1.5	METODOLOGIA	35
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO	38
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	40
2.1	<i>SMART CITY</i>	40
2.1.1	Gestão de energia.....	43
2.2	<i>CITY INFORMATION MODELING (CIM)</i>	44
2.2.1	Modelo Numérico 3D de Cidade ou Modelo Geométrico e Semântico de Cidade	46
2.2.2	Aquisição de dados	47
2.2.3	Representação digital de superfícies	49
2.2.4	Aplicações.....	51
2.2.5	Representação das variadas escalas do modelo	59
2.2.6	Desafios a serem superados	62
2.2.7	Padrão CityGML.....	71
2.2.8	Ferramentas que apoiam o CityGML	81
2.2.8.1	SuperMap	84
2.2.9	Interoperabilidade quanto ao padrão CityGML.....	88
2.3	<i>FACILITY MANAGEMENT (FM) NA INFRAESTRUTURA URBANA</i>	89
2.3.1	Tipos de serviços de FM.....	91
2.3.2	Principais benefícios do FM.....	92
2.3.3	Uso do FM na operação e manutenção de redes de infraestrutura	93
2.3.4	BIM / FM	93
2.4	SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)	98
2.4.1	Ferramentas de Sistemas de Infomação Geográfica.....	100
2.4.2	Áreas de aplicação do SIG	101
2.4.3	Técnicas de aquisição de dados.....	101
2.5	GERENCIAMENTO DAS REDES DE ENERGIA ELÉTRICA	102
2.5.1	Extensões que apoiam o CityGML no âmbito das redes de utilidades.....	109
2.6	MODELAGEM DAS REDES DE ENERGIA ELÉTRICA	112
3	CAMPUS UNIVERSITÁRIO	118
3.1	GESTÃO DO ESPAÇO UNIVERSITÁRIO	119
3.1.1	Panorama das universidades públicas.....	119
3.1.2	Gestão em universidades públicas	120
3.2	CAMPUS FEDERAÇÃO ONDINA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA	124
3.2.1	População e usos.....	126
3.2.2	Superestrutura: edificações e equipamentos	127
3.2.3	Gestão da manutenção e operação	132
4	REDES DE INFRAESTRUTURA DO CAMPUS FEDERAÇÃO ONDINA DA UFBA.....	134
4.1	SISTEMA ENERGÉTICO	136
4.1.1	Rede de eletricidade	139

4.2	REDE DE INFRAESTRUTURA INTEGRADA.....	144
5	DESENVOLVIMENTO DO EXPERIMENTO	146
5.1	DESENVOLVIMENTO DO MODELO GEOMÉTRICO E SEMÂNTICO DO CFO	147
5.1.1	Fluxo de trabalho para a construção do modelo CFO	148
5.1.2	Fluxo de trabalho da Etapa 1.....	151
5.1.3	Fluxo de trabalho da Etapa 2.....	163
5.1.4	Fluxo de trabalho da Etapa 3.....	175
5.1.5	Fluxo de trabalho da Etapa 4.....	183
5.2	DISCUSSÃO.....	191
5.2.1	Consistência	191
5.2.2	Padronização	192
5.2.3	Qualidade dos dados.....	192
5.2.4	Interoperabilidade.....	193
5.2.5	Manutenção e gestão dos dados	193
5.2.6	Implementação de novas tecnologias	193
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	199
6.1	CONCLUSÕES.....	200
6.2	TRABALHOS FUTUROS.....	203
	REFERÊNCIAS	205

1 INTRODUÇÃO

O crescimento das cidades brasileiras é um fenômeno que vem se intensificando nos últimos anos. O país registrou um aumento populacional de 6,5% entre 2010 e 2022, alcançando um total de 203,1 milhões de habitantes em 2022. O crescimento das cidades pode estar associado a diversos fatores, como a migração rural-urbana, o aumento da expectativa de vida e o desenvolvimento econômico (IBGE, 2024).

A migração rural-urbana pode ser impulsionada por fatores como a falta de oportunidades no campo, a busca por melhores condições de vida ou acesso a serviços e infraestrutura; o aumento da expectativa de vida também contribui para o crescimento das cidades, pois a longevidade pode gerar demanda por serviços e infraestrutura urbana e o desenvolvimento econômico também pode contribuir para o crescimento das cidades, pois aumenta a demanda por bens e serviços.

Com o crescimento das cidades surgem alguns desafios como: aumento da desigualdade social, aumento do consumo de recursos naturais, problemas de mobilidade, conseqüentemente aumento da poluição e o grande desafio é a implementação de infraestrutura para atender a essa expansão.

Os sistemas de infraestrutura são conjuntos de componentes físicos e serviços setorizados de acordo a sua finalidade, que formam redes que alicerçam a economia e o funcionamento de um país. Dentre esses setores estão: energia, transporte, água, drenagem, resíduos sólidos e líquidos, saúde, alimentação, Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), dentre vários outros (ver Figura 1). Na medida em que as cidades crescem, tornam-se ambientes mais complexos, suas relações se tornam mais numerosas e heterogêneas, exigindo cada vez mais desses sistemas.

Figura 1 - Sistemas de Infraestrutura



Fonte: Elaborado pela autora.

Os avanços tecnológicos são crescentes e cada vez mais se expande a utilização de aplicativos digitais que interferem diretamente no funcionamento das cidades. São exemplos a solicitação de transporte privado, o monitoramento de transporte público, serviços de navegação veicular, compra e entrega de produtos, entre outros. Esses serviços frequentemente dependem da infraestrutura urbana e representam um desafio nos países em desenvolvimento, como o Brasil, onde é crucial proporcionar acesso à infraestrutura para um grande contingente populacional. São redes de mobilidade saturadas, alagamentos, crises de fornecimento de energia e água, manejo ineficiente de resíduos sólidos e líquidos, decadência das redes físicas urbanas, desequilíbrios climáticos etc. Isto denota necessidade de implementação de mecanismos que permitam monitorar o espaço urbano de forma sistemática, detalhada e em tempo real, de modo a permitir a sua mitigação de uma maneira mais eficiente.

Entretanto, é importante considerar que apesar das “soluções inteligentes” que se aglomeram nos ambientes urbanos, faz-se necessária uma organização das

informações da cidade, apoiada em soluções tecnológicas integradas, com sistematização e ordenamento dos processos urbanos, servindo de base para as tomadas de decisão.

O *City Information Modeling* (CIM) surge como um fator indutor para a estruturação das Cidades Inteligentes, e por conseguinte, um importante recurso para auxiliar a melhoria da qualidade de vida nas cidades (Amorim, 2016). O CIM ou, em português, Modelagem da Informação da Cidade, considera a necessidade de um modelo de informações da cidade que possa suportar tomadas de decisão mais céleres e assertivas.

É importante explicitar quais dimensões ou aspectos da cidade se pretende considerar na modelagem, pois se por um lado, a ideia ou conceito de BIM já é por si só bastante amplo e complexo, por outro lado, a ideia ou o conceito de CIM envolvem complexidade e problemas muito maiores (Amorim, 2015).

O paradigma CIM tem potencial para auxiliar na resolução de problemas como o planejamento, projeto, gerenciamento e crescimento das demandas das cidades, com um destaque especial para a infraestrutura urbana, com suas complexas redes e estruturas que dão apoio ao desenvolvimento das cidades.

O CIM requer um banco de dados unificado e compartilhado que possibilite uma atuação coordenada dos agentes interessados no planejamento, no projeto, na execução, na operação, na manutenção e no monitoramento urbano. Desta forma o trabalho colaborativo é uma de suas principais características (Amorim, 2015).

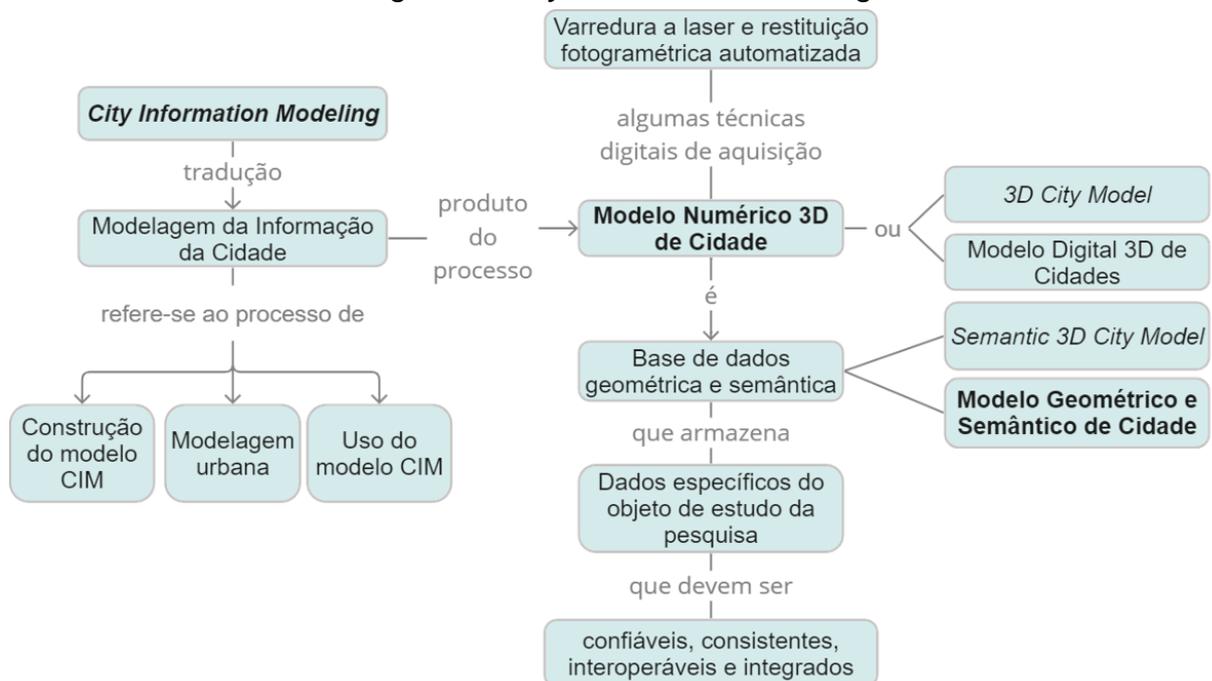
Vale ressaltar que os dados vão muito além da geometria urbana (dados geométricos), uma vez que o CIM pode proporcionar a consulta e utilização de dados de infraestrutura, serviços públicos, entre outros; podendo oferecer recursos para enfrentar os desafios ligados ao transporte, energia, saúde e bem-estar social (Constructible, 2018).

A Modelagem da Informação da Cidade (CIM) compreende a construção e o uso do modelo CIM, enquanto este constitui um modelo geométrico e semântico da cidade, mais ou menos abrangente, conforme os requisitos impostos ao modelo CIM, representando os objetos da cidade, tais como edifícios, pontes, túneis, estradas e

vegetação dentre outros, com sua geometria tridimensional e informações semânticas pertinentes (Amorim, 2018¹). Estes objetos constituem a parte visível de uma cidade, no entanto, as cidades também são formadas por objetos que não estão aparentes, mas são cruciais para seu funcionamento como um sistema interligado. Muitas vezes, esses objetos estão abaixo do solo e contribuem para a infraestrutura da cidade sob a forma de redes de água, eletricidade, esgotos, telecomunicações e outros serviços públicos (Kutzner; Kolbe, 2016).

É importante destacar que nesse trabalho, quando se utilizar o termo “Modelagem da Informação da Cidade” ou CIM, estará se referindo à modelagem urbana, à construção e ao uso de um modelo CIM, e quando se utilizar o termo “Modelo Numérico 3D de Cidade”, estará se referindo ao produto deste processo, uma base de dados geométrica e semântica que armazena os dados específicos do objeto de estudo da pesquisa, conforme apresenta a Figura 2.

Figura 2 - *City Information Modeling*



Fonte: Elaborado pela autora.

¹ Notas de aulas das explicações dadas pelo professor Arivaldo Leão de Amorim na disciplina ARQB30 – Modelagem da Informação da Cidade, ministrada no segundo semestre de 2018 no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Bahia.

A escolha do tema da pesquisa foi motivada pela intenção de explorar a aplicação do CIM na perspectiva da gestão. O conhecimento prévio em *Facility Management*², adquirido durante o desenvolvimento da dissertação de mestrado, foi determinante para direcionar o foco do estudo para essa área, levando à decisão de trabalhar com o CIM e explorar seu potencial na resolução de problemas de gerenciamento. Como resultado, foi desenvolvido um modelo geométrico e semântico de um trecho do Campus Federação Ondina (CFO) da UFBA. No início do experimento, a metodologia para alcançar os resultados ainda não estava totalmente definida, e a quantidade significativa de postes na rede de iluminação pública demandava um tempo maior para a realização dos testes. Diante disso, optou-se por utilizar um trecho específico como amostra representativa do campus, permitindo uma análise mais focada e viável dentro das limitações de tempo e recursos disponíveis.

A escolha do objeto de trabalho foi devido à parceria entre o Laboratório de estudos avançados em Cidade, Arquitetura e tecnologias Digitais (LCAD) e a Superintendência de Meio Ambiente e Infraestrutura (SUMAI), dando continuidade a alguns trabalhos já realizados anteriormente em uma abordagem do paradigma BIM, como por exemplo, a pesquisa: Modelagem da Informação da Construção na fase de projeto: proposta de plano de execução BIM para a SUMAI / UFBA apresentada em 2017 (Pereira, 2017) e o projeto “Modelagem do Campus Federação Ondina para múltiplos propósitos”, realizado com apoio da SUMAI em 2018 (Amorim *et al.*, 2019), que constituiu um subprojeto de pesquisa maior, denominada “Estabelecendo requisitos para a Modelagem da Informação da Cidade”. Essa pesquisa foi realizada pelo LCAD em parceria com o Geodetic Institute (GIK) e o Institute of Photogrammetry and Remote Sense (IPF) do Karlsruhe Institute of Technology (KIT), na Alemanha, no âmbito do Programa Brasil Alemanha (PROBRAL), sendo financiado pela CAPES e pelo DAAD (LCAD, 2023).

² O termo *Facility Management* (FM) refere-se às atividades interdisciplinares realizadas durante a fase de operação de uma edificação, de um espaço ou infraestrutura. As atividades de FM geralmente incluem operação, locação, ocupação, manutenção, limpeza, gestão de ativos, gestão de espaços de trabalho etc. (BIM Dictionary, 2024a).

Em relação à escolha da infraestrutura de iluminação pública, isso se deu devido à busca inicial por informações na SUMAI, identificando que os projetos de elétrica demandavam uma melhor gestão e estavam mais atualizados.

Desta forma o presente trabalho teve como objetivo desenvolver um modelo operacional³ para auxiliar na gestão da rede de iluminação pública e utilizou como objeto de estudo o Campus Federação Ondina (CFO) da Universidade Federal da Bahia (UFBA). Foram evidenciadas demandas operacionais e de manutenção que justificam uma busca por melhorias administrativas apoiadas em tecnologias que promovam o suporte às necessidades atuais, tais como: auxílio no processo de tomada de decisões mais seguras e assertivas, melhor gerenciamento de ativos, programação de serviços de manutenção, subsídios para a elaboração de projetos de ampliação e reforma e poder colaborar com a redução dos custos de manutenção com foco na sustentabilidade.

Existem razões significativas para implantar um Sistema de Gestão Ambiental (SGA) em uma Instituição de Ensino Superior (IES), entre elas o fato de que as faculdades e universidades podem ser comparadas com pequenos núcleos urbanos, envolvendo diversas atividades de ensino, pesquisa, extensão e atividades referentes à sua operação por meio de restaurantes, alojamentos, centros de conveniência, entre outras facilidades. Além disto, um campus precisa de infraestrutura básica, como redes de abastecimento de água, de energia, de saneamento e de coleta de águas pluviais, além de vias de acesso [...] (Tauchen; Brandli, 2006, p. 505).

Dentre as atividades de operação do Campus Universitário, que envolve a gestão do espaço, de pessoas e de suprimentos, existe a necessidade de operação e manutenção das redes de infraestrutura, serviços que deveriam ser imperceptíveis aos olhos dos usuários, pois o serviço de infraestrutura quando é bem gerenciado não aparece. No entanto, na maioria das vezes, ele é notado, quando não está bem executado ou é insuficiente para atender à demanda existente. Estes serviços dão suporte à realização de outras atividades fins da instituição.

³ Um modelo operacional em CityGML ou padrão similar, que possa representar e gerenciar informações geoespaciais ou de elementos que compõem o espaço urbano, como edifícios, ruas, áreas verdes, infraestruturas, entre outros, em diferentes níveis de detalhe e com atributos semânticos.

É importante analisar fluxos num campus, considerando questões econômicas, o que deve incluir a avaliação de indicadores consistentes para auxiliar na compreensão e estimativa do potencial de melhoria do sistema (Tauchen; Brandli, 2006).

Para Machado *et al.* (2013 *apud* Careto; Vendeirinho, 2003), as universidades podem ser comparadas a pequenos núcleos urbanos, pois precisam de infraestrutura básica. Além disso, envolvem atividades de ensino, pesquisa e extensão, juntamente com funções administrativas, que abrangem desde a gestão de pessoal até a operação de restaurantes, alojamentos e outras tarefas, conforme exemplos de fluxos apresentados na Figura 3.

Figura 3 - Exemplos de fluxos de um campus universitário



Fonte: Elaborado pela autora.

A gestão integrada da rede de infraestrutura envolve uma série de desafios, tais como a necessidade de manter os cadastros da rede atualizados. Isso ocorre porque as concessionárias geralmente realizam seus trabalhos de forma individualizada. Por exemplo, a empresa responsável pela rede elétrica realiza suas instalações conforme o projeto da companhia. Posteriormente, a empresa responsável pelo abastecimento de água acessa o mesmo local para realizar a manutenção em sua rede, o que pode gerar riscos de acidentes, uma vez que o funcionário pode não ter acesso aos registros das outras redes, como a de eletricidade.

A realização de um cadastro único seria muito interessante, mediante a colaboração entre as prestadoras de serviços de infraestrutura, com informações do banco de dados atualizados de ambas as concessionárias. Isso possivelmente evitaria acidentes durante a execução de serviços; gastos desnecessários de recursos naturais causados periodicamente por falhas de planejamento, perda de tempo e desgaste com a população.

Nas grandes cidades é muito comum reportarem problemas como:

- Saneamento básico: de acordo ao Instituto Trata Brasil, mais de 33 milhões de brasileiros não têm acesso à água tratada e quase 100 milhões não têm acesso à coleta e tratamento de esgoto (SNIS, 2021).
- Transportes: segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a frota de veículos no Brasil em 2022 é de mais de 100 milhões de veículos, incluindo carros, ônibus, caminhões, motocicletas e outros (IBGE, 2022). O que representa uma das maiores frotas de veículos do mundo, no entanto, a infraestrutura de transportes não é suficiente para atender à demanda, o que resulta em problemas de congestionamento, falta de transporte público de qualidade e de segurança viária.
- Energia: de acordo com o Ministério de Minas e Energia do Brasil, a matriz energética do Brasil é composta por fontes de energias renováveis e não renováveis, com predominância de fontes de energia renováveis, como a biomassa e a energia hídrica. No entanto, o país também possui uma participação significativa de fontes de energia não renováveis, como o petróleo e o carvão mineral (MME, 2022). O país enfrenta problemas de poluição do ar e da água, bem como as mudanças climáticas.
- Habitação: o déficit habitacional no Brasil é um problema histórico que afeta milhões de pessoas. De acordo com a Fundação João Pinheiro (FJP), o país tem um déficit habitacional de 6 milhões de domicílios em 2022, o que representa 8,3% do total de habitações ocupadas no país (Tamietti, 2024). Moradias que muitas vezes são precárias e inadequadas.

Alguns exemplos de problemas de infraestrutura urbana no Brasil podem ser evidenciados em capitais como:

- São Paulo: a ampliação da infraestrutura de saneamento na região metropolitana tem como um dos grandes desafios as ocupações informais. A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) realizou obras de coleta e tratamento de esgoto em locais como a comunidade Vietnã, no entorno do córrego Águas Espriadas, beneficiando mais de 1,2 mil residências com 2,5 km de tubulações (SABESP, 2021).
- Rio de Janeiro: Segundo o Relatório Global sobre o Transporte Público, divulgado pelo aplicativo Moovit, o Rio de Janeiro é a quarta pior cidade do mundo em relação ao tempo médio gasto no transporte público, em média são 67 minutos e 12% das viagens no Rio de Janeiro duram em média 2 horas (Moovit, 2023).
- Recife: com a falta de moradia adequada levando ao crescimento das favelas e à violência urbana. Segundo o IBGE este é um tema complexo que acende muitas discussões sobre políticas de urbanização, infraestrutura e identidade (IBGE, 2019);
- Salvador: com a falta de saneamento básico contribuindo para a proliferação de doenças como diarreia, cólera e febre tifoide. Segundo o Instituto Água e Saneamento⁴, cerca de 11,64% dos moradores vivem sem saneamento básico.

Estes são alguns dos problemas críticos característicos do Brasil, associados, na maioria das vezes, à incapacidade de gestão da infraestrutura urbana e à expansão desordenada.

As interrelações entre a infraestrutura urbana e as edificações contíguas são passíveis de serem mensuradas e decodificadas em sistemas. Os sistemas de infraestrutura podem ser representados pelas redes de distribuição de água e energia, de captação de águas pluviais, de coleta de esgotos e de resíduos sólidos, as redes viárias de passeios e faixas de rolamento etc. No caso das edificações, são contribuições individuais de consumo de recursos (água e energia), geração de resíduos (esgoto e

⁴ Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/municipios-e-saneamento/ba/salvador#:~:text=98%2C83%25%20da%20popula%C3%A7%C3%A3o%20%C3%A9,337.674%20habitantes%20n%C3%A3o%20%C3%A9%20coletado>. Acesso em: 19 mar. 2024.

lixo), impactos na vizinhança (redução na permeabilidade do solo, aumento do fluxo pontual de veículos, emissão de ruídos) etc. Seja no âmbito urbano amplo ou das edificações isoladas, hoje dispõe-se de uma variada gama de ferramentas aplicadas de planejamento e gestão, fundamentalmente embasadas em recursos computacionais, as quais demonstram eficiência em atuar nos processos de mensuração, decodificação e registro dos dados processados (Almeida; Andrade, 2015).

O modelo de sistemas da cidade e os sistemas de planejamento desenvolvidos foram construídos em torno de uma concepção de cidades e gestão que está longe da realidade de como as cidades se desenvolvem e funcionam. As cidades se expandem como produto de milhões de decisões e, diante dessa complexidade, não surpreende que os controles da cúpula tenham pouco efeito sobre sua estrutura (Batty, 2011).

Ainda conforme o autor, as cidades são exemplos de sistemas complexos, por excelência, e é necessário pensar em seu planejamento de maneiras diferentes, atendendo a cada particularidade.

Os profissionais de arquitetura devem levar em conta projetos inclusivos e colaborativos que tenham como base os pilares da tecnologia e da comunicação. A tecnologia não apenas como uma ferramenta útil, mas como meio de ampliar novas formas de conhecimento, de tornar acessível a linguagem técnica, expressando a transformação do espaço a um número cada vez maior de pessoas, para que a arquitetura entre no vocabulário comum dos cidadãos (Otondo, 2021).

1.1 ANTECEDENTES

No decorrer do mestrado realizado no Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (PPG-AU) da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal da Bahia (FAUFBA), elaboramos um estudo sobre o uso da tecnologia *Computer Aided Facility Management* (CAFM)⁵ aplicada na gestão do espaço construído, mais

⁵ O *Computer-Aided Facility Management* (CAFM) é um sistema de computador que suporta as atividades necessárias para o *Facility Management*. Os sistemas CAFM permitem que os gestores de *facilities* monitorem as necessidades operacionais de edificações, gerenciem a utilização do espaço, rastreiem a localização de ativos / equipamentos e realizem outras funções relacionadas durante a fase de operação de uma edificação ou infraestrutura, inclusive ferramentas administrativas e de automatização de processos (BIM Dictionary, 2024a).

especificamente um sistema de alocação de espaços de salas de aula. Foi possível identificar vantagens e desvantagens na utilização do CAFM, confirmadas a partir de estudos de caso realizados através do software Archibus FM. O CAFM procura aliar informações de banco de dados ao espaço físico com localização, o que pode contribuir em algumas rotinas administrativas de grandes instalações.

Tendo como base o conhecimento adquirido acerca da tecnologia CAFM, esta pesquisa visa compreender a Modelagem de Informação da Cidade e as tecnologias envolvidas para auxiliar na gestão de sistemas urbanos.

1.2 CONTEXTUALIZAÇÃO DO TEMA E DO PROBLEMA DE PESQUISA

A Universidade Federal da Bahia (UFBA) tem sua estrutura distribuída nos *campi*: Canela; Federação Ondina; São Lázaro; Anísio Teixeira em Vitória da Conquista; Carlos Marighela, em Camaçari e em imóveis dispersos na malha urbana de Salvador. Estas unidades são diariamente acessadas por milhares de usuários e as instalações rotineiramente desempenham suas próprias funções e podem atender a eventos externos, o que gera um desgaste contínuo das edificações e redes de infraestrutura, necessitando investimentos constantes de ampliação, manutenção, renovação e adaptação. Devido a sua extensa área e funções complexas, a gestão torna-se um trabalho árduo, pois geralmente tem como base documentos desatualizados, registros pessoais ou desenhos técnicos que não expressam a realidade construída atual, o que dificulta a sua operação, manutenção, ampliação e modernização.

O objeto deste trabalho contempla o estudo de tecnologias que possam auxiliar e otimizar o processo de gestão da rede de iluminação pública do Campus Federação Ondina (CFO) da UFBA, que envolve a atualização ou confecção de seu cadastro, sua operação, manutenção e renovação ou ampliação.

No ciclo de vida dos diversos sistemas de infraestrutura é possível notar a dificuldade de lidar com as informações. Existe uma falta de harmonização da informação, seja na reutilização ou troca, o que geralmente leva ao aumento do custo do projeto e, mais importante, pode resultar em falhas durante a etapa de gerenciamento da instalação. Outra dificuldade enfrentada pelos profissionais que atuam com projetos de infraestrutura é a falta de padrões para os modelos geométricos e semânticos, em

que os dados criados nos diferentes aplicativos possam ser representados juntos (Tegtmeier *et al.*, 2009).

Segundo a análise de Yosino e Ferreira (2019), tecnologias baseadas no conceito CIM podem auxiliar no desenvolvimento das *Smart Cities* em serviços voltados para a área urbana, tais como limpeza pública, saneamento básico e controle da arrecadação de impostos, dentre outras aplicações. Entende-se que a interoperabilidade entre sistemas voltados para o meio urbano e o meio construtivo é essencial para a gestão de cidades. Em plataformas como, por exemplo, da Autodesk, a interoperabilidade tem demonstrado ser insuficiente, o que leva à falta de maturidade técnica dos softwares para dar suporte ao conceito CIM visando auxiliar a gestão da cidade.

A abordagem CIM é adequada para atender a complexidade da infraestrutura de uma cidade. Segundo Yosino e Ferreira (2019, p. 1), as pesquisas no meio acadêmico caminham para o estudo de ferramentas que fazem parte do contexto conhecido e conceituado do *Building Information Modeling* (BIM) e o *Geographic Information System* (GIS), sigla em inglês do termo Sistema de Informação Geográfica (SIG), duas macroáreas de aplicações que possuem propriedades intrínsecas ao CIM, refletindo características de multidisciplinaridade.

O paradigma BIM alterou o enfoque dado à edificação, pois passou a ser objeto de um conjunto integrado de operações sofisticadas ao longo do ciclo de vida, que compreendem os mais diversos tipos de simulações numéricas visando a melhoria das edificações, mais duráveis e mais sustentáveis, através da modelagem procedural. Essa incorpora a geometria tridimensional dos objetos, suas propriedades físicas, comportamentos, relacionamentos, dentre vários outros atributos, com o objetivo de melhorar a qualidade do ambiente construído, redução dos impactos ambientais e melhoria da satisfação dos usuários (Amorim, 2016).

A tecnologia SIG tem desenvolvido ferramentas para dar suporte à gestão (manutenção e operação), planejamento e monitoramento de sistemas, tais como políticas públicas, segurança e infraestrutura. Todavia é preciso que haja integração de dados e interoperabilidade entre os sistemas, para que dentro da abordagem CIM, mesmo utilizando sistemas distintos, seja possível produzir um modelo completo e

robusto, que possa ser usado em apoio efetivo ao gerenciamento urbano (Amorim, 2015).

A interoperabilidade no ambiente CIM precisa unir os dados das edificações modeladas de forma paramétrica em BIM, os diversos sistemas de infraestrutura desenvolvidos em ferramentas *Computer-Aided Design* (CAD) específicas ao ambiente urbano em SIG, assegurando a integridade das informações e evitando o retrabalho.

Percebe-se que o trabalho poderia ser encaminhado em uma abordagem mais voltada para o SIG 3D, seguindo os princípios do FM, com intuito de converter o produto final no padrão *City Geography Markup Language* (CityGML), que parecia estar mais adequado para o desenvolvimento de um modelo geométrico e semântico, que pudesse auxiliar o processo de gestão da rede de iluminação pública de uma área extensa como o CFO.

Tegtmeier *et al.* (2009) relatam em seus estudos, que o padrão CityGML, proposto pela Open Geospatial Consortium (OGC)⁶, é um modelo de informação comum desenvolvido para representação geométrica e semântica de objetos urbanos. Este padrão permite uma descrição de classes, relações e propriedades geométricas, topológicas, semânticas e de aparência, representando os objetos mais relevantes das cidades. Inclui hierarquias entre classes temáticas, níveis de detalhes e relações entre objetos e propriedades espaciais.

Objetivando ampliar os estudos de aplicações em Modelagem de Informação da Cidade e com o intuito de explorar formas de auxiliar o processo de gestão integrada da infraestrutura elétrica de áreas com o porte da Universidade Federal da Bahia e acreditando que o *Facility Management* possa contribuir no processo, surgem diversas questões para serem compreendidas através de estudos realizados e experimentos aplicados com essa tecnologia:

⁶ Organização internacional responsável pela padronização de conteúdos nas áreas de sistemas de informação geográfica. Disponível em: <https://mundogeo.com/2007/04/06/open-geospatial-consortium/>. Acesso em: 5 ago. 2020.

- Como o padrão CityGML⁷ pode ser utilizado na gestão das redes elétricas urbanas?
- Quais são as aplicações do padrão CityGML para as redes de infraestrutura urbana?
- Qual tipo de informação semântica é inserida no padrão CityGML da rede de instalações elétricas?
- Quais as ferramentas empregadas na construção de modelos CityGML?
- Quais as vantagens e desvantagens da utilização de modelos CityGML na gestão da infraestrutura urbana?

Dentro desse contexto, verificou-se a necessidade de estudos mais aprofundados das tecnologias e metodologias que possibilitassem facilitar a gestão da rede de iluminação pública.

1.3 JUSTIFICATIVA

A crescente demanda por informações ao longo das fases de projeto, construção, operação e manutenção das instalações em um complexo de edificações, como é o caso do campus universitário da UFBA, representa um desafio significativo para os gestores de *facilities* e as equipes responsáveis pela operação e manutenção. A busca por melhorias na qualidade e padronização das informações visa atender tanto às necessidades diárias quanto fornecer dados confiáveis para a gestão e o planejamento organizacional da instituição, garantindo eficiência e sustentabilidade a longo prazo.

A Constituição Federal de 1988, art. 205 (Brasil, 1988), define a educação como um direito de todos e dever do Estado e da família, sendo assim, foi elaborado o Plano Nacional de Educação (PNE) para 2001 a 2010, no qual foram fixadas metas que exigiam um aumento considerável dos investimentos nessa área. Nesse contexto, o ensino superior público no Brasil passou por ajustes, incluindo a implantação de programas governamentais como o de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI) que teve como um dos objetivos prover as universidades das

⁷ O padrão CityGML é abordado com mais detalhe na seção 2.2.7.

condições necessárias para ampliação do acesso e permanência na educação superior (Brasil, 2012).

Diante desse cenário, percebe-se que a autonomia universitária permite encontrar soluções para problemas particulares de cada instituição dentro da gestão educacional. E, a gestão educacional diz respeito ao resultado do processo de articulação nas diferentes instâncias educacionais de governo (Maciel, 2014).

Os *campi* universitários estão em constante processo de expansão física e adaptações da estrutura existente. E para que este processo aconteça de forma ordenada, segundo um cronograma físico e financeiro, é necessário um adequado planejamento de recursos e projetos das edificações para um desenvolvimento coerente e eficiente, e de acordo com as prioridades da comunidade universitária. A implantação dessas instalações precisa de infraestrutura básica, redes de abastecimento de água e energia, saneamento e vias de acesso (Esteves, 2013). A operação do campus gera resíduos sólidos, efluentes líquidos e consumo de recursos naturais que fazem parte dos programas de gestão das universidades (Brandli *et al.*, 2008).

As universidades possuem instrumentos de planejamento internos, no que se refere à gestão. O mais abrangente é o Plano de Desenvolvimento Institucional (PDI), ou o Plano Estratégico, no qual são traçadas metas e objetivos globais para a universidade, e estabelecidas diretrizes e políticas internas que influenciam diretamente na tomada de decisões.

De acordo com o PDI da UFBA, relativo ao período 2012-2016, no âmbito da gestão de infraestrutura, é importante destacar as seguintes diretrizes institucionais:

- Utilizar plenamente a capacidade instalada da UFBA, otimizando os recursos de infraestrutura, material e financeiro, tendo em vista seus objetivos estratégicos;
- Racionalizar, em conformidade com o plano diretor vigente, o uso do espaço físico e das instalações da universidade, assegurando condições de segurança e acessibilidade, tornando-os social e ambientalmente mais acolhedores;

- Dotar a universidade de recursos humanos, serviços e tecnologias de informação, comunicação, controle e automação modernas e capazes de dar suporte efetivo para as diversas áreas meio e fins da Universidade, aprimorando os mecanismos de governança institucional;
- Implantar mudanças na estrutura organizacional da Universidade, reduzindo a fragmentação, os níveis hierárquicos, definindo, racionalizando e informatizando as rotinas administrativas, buscando ampliar a agilidade, economicidade e efetividade dos processos administrativos.

Diante do conjunto de metas estabelecidas pelo Plano de Desenvolvimento Institucional (PDI) da UFBA e da realidade político-econômica que passa o Brasil, não é difícil concluir que os objetivos do REUNI não foram alcançados em sua plenitude.

Conforme relata o PDI da UFBA, o REUNI teria vigência até 2012 e diante do panorama do país, o Ministério da Educação (MEC) não cumpriu com todos os compromissos assumidos com as Universidades. No início do programa de expansão foram realizadas várias mudanças, incluindo a construção de novas edificações, transformando a aparência do CFO e demais instalações da instituição. No entanto, ainda há muito por fazer.

Com relação ao espaço físico, existe a necessidade de ampliação da infraestrutura com condições adequadas ao exercício pleno de suas funções e com a garantia de acessibilidade; ampliação da rede de Tecnologia da Informação e Comunicação; segurança; transportes, entre outros. Estes são alguns exemplos do desafio imposto pelo crescimento acelerado, que necessitam de investimentos para a sua conclusão e manutenção.

A UFBA vem demonstrando interesse em dar prosseguimento na implantação de sistemas de projeto, construção e gestão das suas instalações através do emprego de métodos e técnicas atuais e de comprovada eficiência e eficácia. Nesse sentido já existem outras ações em andamento associadas a projetos de pesquisa que, em paralelo ao desenvolvimento científico e tecnológico, visam apoiar a modernização dos sistemas de projeto, construção e gestão da infraestrutura física da Universidade.

Durante o período de 2019 a 2022, as universidades públicas enfrentaram um contexto político e econômico desfavorável, evidenciando um cenário de obras inacabadas e a interrupção das atividades relacionadas ao Programa de Apoio ao Plano de Expansão e Reestruturação das Universidades Federais (REUNI). É importante contextualizar a execução dessas expansões e seu impacto na rede de infraestrutura do Campus Federação Ondina.

Esse processo de expansão exigiu também a ampliação da planta física da universidade. Nos três primeiros anos de implementação do REUNI foram realizadas novas construções, tornando o espaço mais adensado de pessoas e atividades. Mas, ainda há muito por fazer para alcançar os objetivos propostos e metas definidas pela UFBA. Assim, é muito importante manter atualizada uma base que sirva de referência para auxiliar na compreensão das etapas que foram executadas da instalação física necessária para suportar o crescimento previsto: construções de novas edificações, ampliações e reformas dos espaços já existentes.

Pode-se destacar também a preocupação com o meio ambiente registrada no PDI (UFBA, 2012), com ações de sustentabilidade que incorporam a ampliação do processo de recuperação e enriquecimento da cobertura vegetal no Campus de Ondina, ampliando as ações de racionalização do uso das águas através do Projeto Água Pura, já implantado nas unidades e órgãos da universidade, projeto de eficiência energética e coleta seletiva de resíduos sólidos.

A expansão da universidade aumentou o número de cursos e de usuários que transitam em suas instalações, o que impacta em uma maior complexidade na operação e gestão da instituição. Atualmente os serviços são desenvolvidos com base em informações retiradas de projetos muitas vezes desatualizados ou até mesmo informações de funcionários mais antigos que têm consigo a memória da execução de muitos serviços. Evidencia-se desta forma a necessidade de novas abordagens no gerenciamento dos espaços, procurando utilizar processos, métodos e ferramentas adequadas para o desafio de otimizar a execução dos trabalhos administrativos, visando a redução de gastos e agilidade nas tomadas de decisões.

Estas demandas reforçam a necessidade de buscar por soluções apoiadas na tecnologia, que auxiliem as rotinas de operação e manutenção de áreas extensas

(múltiplas edificações interligadas por uma rede de infraestrutura), por isso o interesse em se pesquisar tecnologias sob a ótica do SIG e do CIM.

Na construção de modelos geométricos e semânticos de campus universitários, a utilização do CityGML permite a interoperabilidade com futuros modelos de cidades, que podem ser utilizados para diferentes aplicações, por exemplo, a gestão do campus (Salleh; Ujang; Azri, 2021).

1.4 OBJETIVOS

O objetivo geral da pesquisa consistiu em elaborar um modelo operacional para auxiliar na gestão do sistema de iluminação pública do Campus Federação Ondina da Universidade Federal da Bahia, abrangendo as informações geométricas e semânticas do sistema de energia elétrica do campus, utilizando o padrão CityGML. Essa proposição foi alcançada por meio da realização dos seguintes objetivos específicos:

- Explorar potencialidades das tecnologias existentes que pudessem otimizar a gestão do sistema de iluminação pública do CFO, permitindo um processo de tomada de decisão com base em informações precisas, de acordo com os princípios e diretrizes do FM;
- Apresentar e analisar as aplicações que adotam o padrão CityGML ou similares na gestão de sistemas de iluminação pública;
- Identificar ferramentas e metodologias que pudessem ser adotadas para o desenvolvimento do modelo CityGML.

1.5 METODOLOGIA

A pesquisa configurou-se como qualitativa de caráter exploratório, pois visava aprofundar processos complexos e pouco explorados, como é o caso da utilização da tecnologia *Facilities Management* na gestão de infraestrutura. Além disso, foi empregada a estratégia de pesquisa experimental que, conforme Gil (2008), consiste em submeter os objetos de estudo à influência de variáveis específicas em condições controladas e conhecidas pelo investigador.

O pesquisador seleciona determinadas variáveis e testa suas relações funcionais, utilizando formas de controle. Desta forma, Gil (2002) relata que o pesquisador é um agente ativo e não um observador passivo. A pesquisa pode ser desenvolvida em qualquer lugar, tanto em campo (ambiente natural), quanto em laboratório (Severino, 2007).

Quanto às variáveis, para serem definidas, precisam ter valores.

Uma variável pode ser considerada como uma classificação ou medida; uma quantidade que varia; um conceito operacional, que contém ou apresenta valores; aspecto, propriedade ou fator, discernível em um objeto de estudo e passível de mensuração. Os valores que são adicionados ao conceito operacional, para transformá-lo em variável, podem ser quantidades, qualidades, características, magnitudes, traços etc., que se alteram em cada caso particular e são totalmente abrangentes e mutuamente exclusivos. Por sua vez, o conceito operacional pode ser um objeto, processo, agente, fenômeno, problema etc. (Lakatos; Marconi, 2003, p. 137).

Considerando-se o objetivo de se identificar como gerar um modelo geométrico e semântico que pudesse ser utilizado na gestão do sistema de iluminação pública do CFO da UFBA, foi realizada pesquisa básica objetivando gerar novos conhecimentos sobre *Smart City*, *City Information Modeling (CIM)*, *Facility Management (FM)* na infraestrutura urbana, Sistema de Informação Geográfica (SIG), Gerenciamento das redes de energia elétrica e modelagem das redes de energia elétrica, fundamentais para o avanço da pesquisa. Quanto à sua caracterização, define-se como exploratória com levantamentos bibliográficos que mediante análise documental, buscou-se interpretar e descrever conhecimentos e experiências relacionadas ao tema estudado.

Na pesquisa, o objeto em estudo foi o Campus Federação Ondina da UFBA, porém, por se tratar do estudo do sistema de iluminação pública, que é bastante amplo e constituído de muitos detalhes, foi preciso delimitar um trecho menor.

As variáveis foram cuidadosamente definidas e divididas entre o espaço físico do Campus e os componentes do sistema de iluminação pública⁸, abrangendo

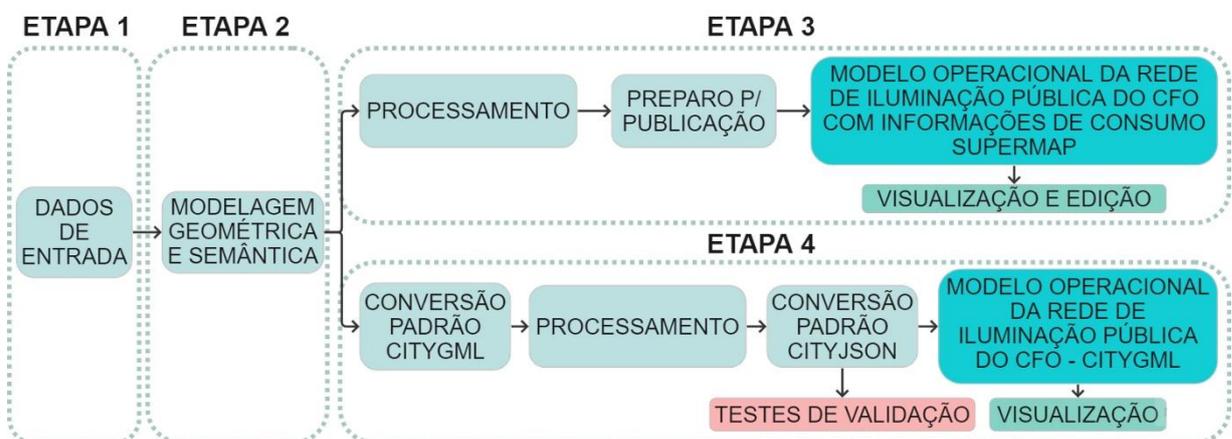
⁸ Variáveis trabalhadas no sistema de iluminação pública do CFO relacionadas aos postes: altura, localização, rotação e tipo de braço; às luminárias: tipo, dimensões, quantidade; às lâmpadas: tipo, quantidade e potência; às caixas de passagem: tipo, dimensões e localização; aos eletrodutos: tipo, quantidade e dimensão; aos cabeamentos: tipo, fase, dimensão, classificação do circuito elétrico etc.

características, quantidades e valores essenciais para a construção do modelo operacional do CFO.

Para compreender melhor o espaço físico e a gestão de operacional do CFO, realizou-se um levantamento detalhado de dados com o objetivo de identificar a documentação existente na UFBA sobre as instalações físicas, organizar elementos e processos para elaborar um modelo geométrico e semântico no padrão CityGML, além de visitas ao local em estudo para esclarecer dúvidas e identificar objetos representados em projeto junto aos colaboradores da SUMAI.

A pesquisa envolveu também a observação dos problemas rotineiros na gestão do sistema de iluminação pública, visando identificar questões operacionais que afetam a agilidade da execução dos serviços. Com base nessa análise, foi desenvolvido um modelo operacional com o intuito de facilitar o acesso às informações dos componentes do sistema. As etapas detalhadas desse processo estão descritas na Figura 4, proporcionando uma visão abrangente das atividades realizadas e dos resultados obtidos.

Figura 4 - Desenvolvimento do experimento



Fonte: Elaborado pela autora.

Na etapa 1 foram levantados os dados da SUMAI, assim como, edição e modelagem dos componentes em ferramentas específicas conforme apresenta a seção 5.1.2.

A etapa 2, detalhada na seção 5.1.3, apresenta o processo de modelagem geométrica e semântica utilizando diversas ferramentas para obter as duas cenas. Estas cenas foram separadas porque no SuperMap iDesktop não é possível salvar no padrão CityGML, foi preciso retirar da cena 2 a textura dos postes e separar por tipo de poste.

Com as cenas separadas o experimento foi dividido em duas etapas (3 e 4). Na etapa 3, detalhada na seção 5.1.4, com base nos dados geométricos e semânticos obtidos, deu-se início ao desenvolvimento do modelo operacional da rede de iluminação pública do CFO com informações de consumo no software SuperMap iDesktop 10i, utilizando recursos do iCloud e iServer. Este modelo com os dados de consumo de cada poste pode ser visualizado e editado no próprio SuperMap iDesktop 10i e acessado no iServer a partir de um *link* disponível para funcionários autorizados da UFBA. A vantagem desta etapa é ter acesso à visualização do modelo com as informações semânticas do consumo diário de cada poste ou de informações dos componentes do sistema de iluminação pública do campus. Como desvantagens: a dificuldade em lidar com diferentes softwares, linguagem de programação e a limitação de acesso ao modelo enquanto tiver a licença gratuita da SuperMap.

Durante a etapa 4, foi utilizada a cena 2, detalhada na seção 5.1.5. Nesse processo, foi realizada a conversão para o padrão CityGML, seguida do processamento e, posteriormente, da conversão para CityJson. Essas etapas foram essenciais para viabilizar os testes e, por fim, obter o modelo operacional de iluminação pública do CFO no formato padrão CityGML.

A vantagem dessa etapa está na possibilidade de converter o modelo para o padrão CityGML, obter o formato CityJson e poder visualizá-los. No entanto, como desvantagem, tem-se a necessidade de utilizar vários softwares e formatos diferentes, além da dificuldade de validação devido à complexidade do modelo.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O conteúdo deste trabalho está distribuído em seis capítulos, descritos a seguir.

O Capítulo 1 - **Introdução** – faz uma abordagem inicial sobre o tema, apresentando a justificativa, caracterizando o objeto, os objetivos e a metodologia utilizada nesse trabalho.

O Capítulo 2 - **Fundamentação teórica** – discussão de temas que delimitam o campo do saber como: *Smart City*, *City Information Modeling (CIM)*, *Facilities Management (FM)* na Infraestrutura Urbana, Sistema de Informação Geográfica (SIG),

Gerenciamento das redes de energia elétrica e Modelagem das redes de energia elétrica.

O Capítulo 3 – **Campus Universitário** – trata da gestão do espaço universitário, destacando a estrutura da Universidade Federal da Bahia e, de forma mais específica, o Campus Federação Ondina (CFO), utilizado como objeto de estudo. São analisados os usos e a infraestrutura, incluindo edificações e equipamentos, a população frequentadora e a gestão sob responsabilidade da Superintendência de Meio Ambiente e Infraestrutura (SUMAI).

O Capítulo 4 - **Infraestrutura do Campus Federação Ondina da UFBA** - apresenta de forma geral as redes e sistemas de infraestrutura do campus da UFBA, tais como: rede viária, drenagem pluvial, rede de esgoto sanitário, abastecimento de água, rede de energia elétrica, gás e sistema de comunicação. Em destaque, é descrita a rede de iluminação pública com elementos da infraestrutura, tais como: postes, transformadores, cabeamento, eletrodutos e caixas de passagem.

Capítulo 5 – **Desenvolvimento do experimento** – descreve o desenvolvimento do modelo geométrico e semântico do trecho da rede de iluminação pública do CFO, apresentando o processo de trabalho que utiliza recursos de diferentes ferramentas. Posteriormente, são discutidos os resultados obtidos.

Capítulo 6 – **Considerações finais** – indica as conclusões e contribuições sobre os métodos e tecnologias utilizadas, analisa as limitações e potencialidades dos programas utilizados na elaboração do modelo CityGML de um espaço urbano existente sob a ótica do CIM, e finaliza com as sugestões de trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta a fundamentação teórica da pesquisa, abordando conceitos, definições e aplicações relevantes. Serão discutidos temas como *Smart City* e *City Information Modeling* (CIM), com o objetivo de compreender e fundamentar a modelagem CityGML do sistema de iluminação pública, incluindo aspectos como aquisição de dados, representação de diferentes escalas do modelo, ferramentas que suportam o formato CityGML, interoperabilidade e desafios a serem superados.

Além disso, foi explorado o conceito de *Facility Management* (FM) aplicado à gestão da rede de infraestrutura urbana, assim como o Sistema de Informação Geográfica (SIG), incluindo técnicas de aquisição de dados, softwares utilizados e aplicações.

Por fim, serão abordados a modelagem e o gerenciamento do sistema de iluminação pública.

2.1 SMART CITY

Enfrenta-se o desafio do constante avanço tecnológico e da rápida expansão das cidades, na sua grande maioria sobrepostas a uma infraestrutura inadequada.

O conceito de Cidade Inteligente baseia-se na utilização de dados relativos aos componentes físicos da cidade (infraestrutura, edifícios e espaço público), ambiente natural (qualidade do ar, espaços verdes, recursos hídricos, emissão de gases poluentes), serviços urbanos (transportes, abastecimento de água, fornecimento de energia elétrica, educação, saúde, cultura, desporto etc.), atividade econômica e cidadãos. Estes dados refletem as cidades em diferentes escalas e contextos, que se bem analisados e compreendidos, podem proporcionar ao cidadão segurança, conforto e inclusão (Shahrour; Alileche; Al Furjani, 2017).

A gestão inteligente de infraestrutura e edifícios urbanos desempenha um papel importante na eficiência da Cidade Inteligente, pois pode contribuir para melhorar o funcionamento das cidades, a qualidade dos serviços urbanos e ter um melhor controle das despesas da cidade, tanto de investimento quanto de operação e manutenção (Shahrour; Alileche; Al Furjani, 2017).

O sistema de gestão⁹ é alimentado com dados provenientes da utilização e operação dos ativos. Devido à interdependência da infraestrutura e dos edifícios urbanos é preciso um sistema de gestão abrangente, que recolha, armazene e possibilite a análise dos sistemas urbanos e depois forneça dados para a operação de forma otimizada e confiável.

A modelagem digital de sistemas urbanos e da cidade é sustentada por uma variedade de plataformas e softwares. Essas ferramentas desempenham papéis cruciais na representação e análise de elementos urbanos, desde infraestruturas até edificações. Entre essas principais abordagens, destacam-se o SIG, amplamente utilizado para representação das redes de infraestrutura urbana; o BIM para a modelagem das informações das edificações e o CIM para a modelagem da informação da cidade (Shahrour; Alileche; Al Furjani, 2017).

A abordagem de cidades inteligentes inclui tecnologias que promovem (Weiss; Bernardes; Consoni, 2015):

- Maior eficiência energética e otimização na produção de bens e serviços;
- Sistemas inteligentes para monitoramento e gerenciamento das infraestruturas urbanas, que pode prever acidentes naturais;
- Soluções de colaboração e redes sociais;
- Sistemas integrados para a gestão de ativos;
- Sistemas especializados de atenção à saúde e educação, que permitem a interação com os atores por intermédio da internet;
- Sistemas, métodos e práticas para o gerenciamento integrado, eficiente e eficaz de variados tipos de serviços;
- Sistemas para o tratamento de grandes volumes de dados;
- Sistemas de georreferenciamento;

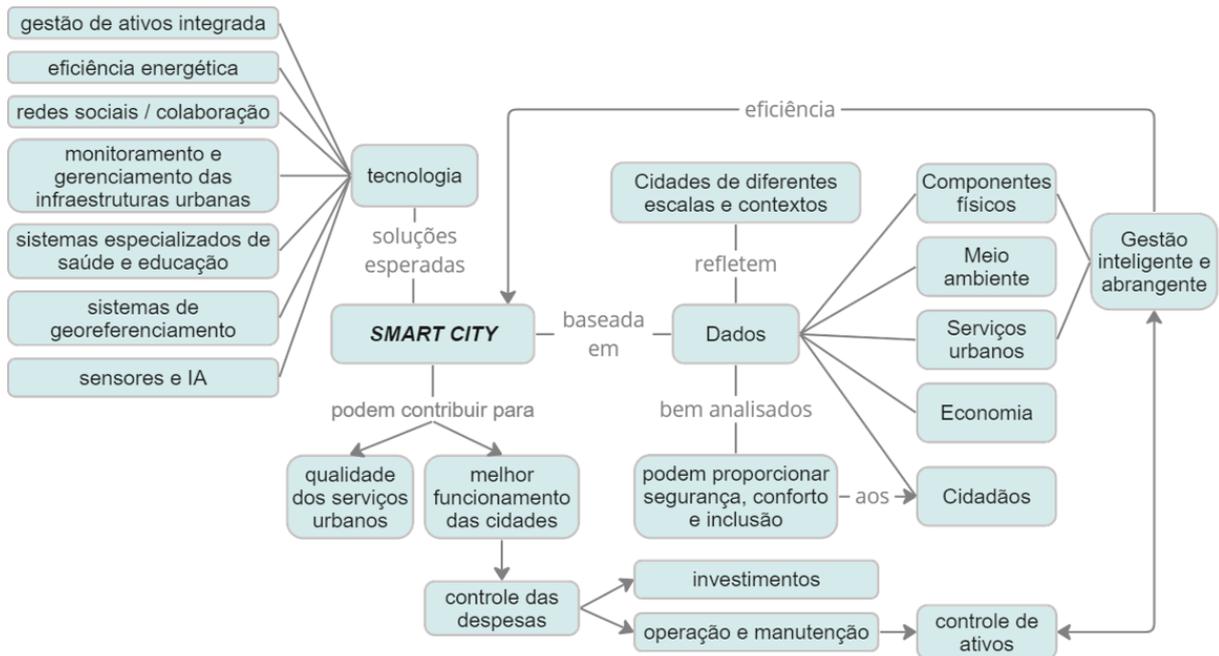
⁹ Sistema de gestão é o conjunto de elementos inter-relacionados ou interativos de uma organização, para estabelecer políticas, objetivos e processos para alcançar as metas estabelecidas pela instituição (ABNT, 2018).

- Tecnologias de identificação por radiofrequência e etiquetas digitais colocadas em produtos e cargas, otimizando os processos de logística e transações comerciais, e
- Sensores e sistemas de inteligência artificial, dentre outros.

Na literatura, podem ser encontrados exemplos de implementação de projetos associados ao conceito de cidade inteligente, como em Porto Alegre, com a realização de estudos de como as Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) avançaram na gestão de infraestruturas e serviços urbanos. Este projeto buscou implementar um sistema de gerenciamento de ativos e serviços públicos (água, esgoto, vias públicas, limpeza urbana etc.), por meio de sensores integrados para proporcionar agilidade no atendimento às necessidades de manutenção das infraestruturas públicas. Os departamentos contemplados com a solução podem gerenciar obras e reparos que estão sendo realizados na cidade, administrando a utilização de materiais e o ciclo de vida dos ativos urbanos (Weiss; Bernardes; Consoni, 2015).

Os autores afirmam que os sistemas de informação buscam aumentar a eficiência e a eficácia dos serviços públicos, contemplando: planejamento, projeto, implantação, operação, manutenção, renovação e expansão dos ativos urbanos. Nesse sentido, as tecnologias são essenciais para a redução de custos e a melhoria da qualidade de todos os serviços oferecidos ao público, o que impacta positivamente na qualidade de vida dos cidadãos, conforme exposto na Figura 5.

Figura 5 - Smart City



Fonte: Elaborado pela autora.

As cidades inteligentes buscam soluções inovadoras para os desafios enfrentados pelas áreas urbanas, procurando torná-las mais eficientes, sustentáveis e conectadas.

2.1.1 Gestão de energia

A gestão inteligente de energia envolve o uso de tecnologia para otimizar a produção, distribuição e consumo de energia de forma a promover eficiência, custo-benefício e sustentabilidade (Pandiyani *et al.*, 2023).

No entanto, a gestão do consumo de energia nas cidades apresenta vários desafios, tais como: descompasso entre oferta e demanda de energia; a infraestrutura energética nas cidades geralmente é desatualizada e ineficiente, levando a perdas significativas de energia durante a transmissão e distribuição; falta de sistemas de monitoramento e gerenciamento de energia em tempo real, para poder identificar ineficiência energética; flutuação nos preços da energia, e falta de investimento adequado para projetos de infraestrutura energética, o que pode dificultar a adoção de novas tecnologias (Pandiyani *et al.*, 2023).

Com intuito de superar esses desafios, os avanços tecnológicos podem otimizar a produção, distribuição e consumo de energia nas cidades inteligentes. Esses avanços

incluem a integração de fontes de energia renováveis, o desenvolvimento de redes inteligentes, o uso de edifícios e aparelhos / eletrodomésticos energeticamente eficientes e a implementação de sistemas de monitoramento e gerenciamento de energia em tempo real. As soluções tecnológicas podem otimizar o consumo de energia, reduzir custos e promover a sustentabilidade ambiental. Pandiyan *et al.* (2023) listam alguns dos principais avanços tecnológicos nessa área:

- *Smart grids*: são redes inteligentes que usam sensores avançados, tecnologias de comunicação e algoritmos para monitorar e gerenciar em tempo real da oferta e demanda de energia a distribuição na rede, procurando melhorar a eficiência e o desperdício;
- Fontes renováveis de energia, como a energia solar, eólica e geotérmica, é outro avanço crítico na gestão inteligente de energia;
- O armazenamento de energia permite que o excesso de energia gerada, a partir de fontes renováveis, seja armazenado e utilizado quando a demanda de energia é alta;
- Os edifícios inteligentes usam sistemas avançados de gerenciamento de energia, como sistemas inteligentes de iluminação e climatização, para otimizar o consumo de energia e reduzir o desperdício;
- *Data analytics*: permite a coleta, análise e interpretação de dados de consumo de energia para identificar ineficiências, otimizar o uso de energia e reduzir custos.

Segundo os autores, ao integrar essas tecnologias em sistemas de gerenciamento de energia, as cidades inteligentes podem otimizar a produção, distribuição e consumo de energia para criar ambientes urbanos mais habitáveis, sustentáveis e eficientes.

2.2 CITY INFORMATION MODELING (CIM)

Considerando-se uma visão sistêmica da cidade, os vários tipos de edificações e os sistemas físicos de infraestrutura urbana são elementos essenciais, presentes em qualquer definição de cidade. Eles constituem uma condição necessária para o estabelecimento de qualquer assentamento humano (Amorim, 2015).

Os modelos digitais do ambiente construído são representações computacionais dos objetos, suas características e suas inter-relações em um terreno urbano específico. Isso inclui tanto os elementos naturais quanto os criados pelo homem, como o Modelo Digital de Terreno (MDT), o Modelo Digital de Superfície (MDS), a vegetação, os corpos d'água, bem como as construções humanas, como edifícios, pontes, túneis e infraestrutura. As principais propriedades dessas representações digitais incluem informações espaciais, temporais, gráficas e temáticas sobre as entidades nas cidades e seus arredores, fornecendo detalhes sobre localização, forma, extensão, aparência visual, classificação, atributos temáticos, aspectos funcionais e suas inter-relações (Kolbe; Donaubauer, 2021, p. 609, tradução nossa).

A Modelagem da Informação da Cidade é o processo no qual uma base de dados relativa aos diversos aspectos da cidade e análoga ao BIM (confiável, consistente, interoperável e integrada) seja constituída de forma colaborativa para a representação das cidades e seus diversos subsistemas, em um formato padrão, com a finalidade de possibilitar a sua aplicação em várias operações (Simonelli, 2022).

A abordagem digital para o desenvolvimento do ambiente construído vem se configurando como prioridade do governo dos Estados Unidos da América (EUA) e da indústria americana, com foco em “Cidades Inteligentes” (Nam; Pardo, 2011). No entanto, a implementação de soluções tecnológicas levanta preocupações sobre propriedade de dados, privacidade e desigualdades. A contribuição das tecnologias digitais para o planejamento urbano ainda não foi explorada suficientemente. O conceito de Modelagem de Informações da Cidade (CIM) surge como uma proposta para unificar tecnologias de Cidades Inteligentes e práticas de planejamento urbano digital (Gil, 2020).

É possível considerar que existe uma analogia entre o BIM e o CIM. No entanto, o ambiente urbano é consideravelmente mais complexo. Envolve diversos fatores, como empresas, sistemas de transporte e, crucialmente, a presença dinâmica das pessoas (Simonelli, 2022).

O CIM pode ser visto como uma extensão do BIM, uma integração de sistemas CAD paramétricos com bancos de dados geográficos, uma evolução dos modelos de cidade 3D e uma plataforma complexa para realizar a visão de Cidades Inteligentes (Gil, 2020).

A base de dados, em pesquisas disponíveis na literatura, Julin *et al.*, (2018), Kolbe (2009), Biljecki *et al.* (2015), Lee; Zlatanova (2008), dentre outros, é referida como

‘Modelo Numérico 3D de Cidades’, em que ‘numérico’ significa ‘digital’, ou seja, um ‘Modelo Digital 3D de Cidades’, também conhecido como ‘*3D City Model*’. Segundo autores como Kolbe (2009), Kolbe; Donaubauer (2021) e Beil *et al.* (2022) a base de dados do CIM pode variar entre ‘*Semantic 3D City Model*’ ou ‘Modelo Semântico 3D de Cidade’ e ‘*Geometric-Semantic Model*’ de Borrmann *et al.* (2015).

Os modelos semânticos 3D de cidades são representações virtuais (sic) do ambiente urbano, ou seja, conjuntos de dados que representam as entidades da realidade física, como edifícios, ruas, árvores, pontes e o terreno. [...] Os objetos de um modelo semântico 3D de cidade representam os respectivos elementos do mundo real com suas propriedades temáticas, geométricas, topológicas e de aparência. Além disso, as inter-relações lógicas e espaciais entre diferentes objetos são expressas. Esses objetos pertencem a um conjunto de classes predefinidas, como *Building*, *Road*, *CityFurniture* ou *WaterBody*, com atributos espaciais e temáticos cuja semântica é explicitamente definida em uma especificação. Objetos complexos geralmente são decompostos em partes significativas, por exemplo, um edifício pode ser dividido em partes e essas, por sua vez, são estruturadas em superfícies de telhado, parede e solo. As superfícies das paredes podem conter janelas e portas. Os objetos podem ter atributos temáticos em todos os níveis de agregação, e suas propriedades espaciais são representadas por meio de objetos geométricos e topológicos (Kolbe; Donaubauer, 2021, p. 613, tradução nossa).

Nesta pesquisa os termos podem variar de acordo com o autor citado. No entanto, o experimento desenvolvido se alinha de maneira mais adequada ao termo mais abrangente: ‘Modelo Geométrico e Semântico de Cidade’ (detalhado na seção 2.2.1). Além disso, considera-se também o termo ‘Modelo Operacional’, devido ao foco deste experimento na área de *facilities management*, melhor abordado no desenvolvimento do experimento.

2.2.1 Modelo Numérico 3D de Cidade ou Modelo Geométrico e Semântico de Cidade

Na literatura é possível perceber algumas formas de se referir à representação da cidade no formato digital tridimensional: modelo 3D, modelo geométrico, modelo geométrico e semântico etc. Esta variação está diretamente relacionada à sua constituição, pois representa diferentes objetos que compõem a complexidade urbana. Segundo Julin *et al.* (2018), os modelos numéricos 3D de cidades combinam dados geométricos tridimensionais de objetos urbanos, tais como vias, edificações, árvores, terrenos etc. e atributos, que são os dados não geométricos.

Os modelos numéricos 3D de cidade se destacam como parte essencial da infraestrutura de informações espaciais nas cidades modernas. Os aplicativos seguem as etapas básicas de codificação, armazenamento e gerenciamento das informações geradas a partir do uso e operação dos sistemas que compõem a infraestrutura urbana. Geralmente, esses modelos são armazenados em sistemas de banco de dados que facilitam a escalabilidade e oferecem gerenciamento estável e confiável para os dados espaciais e não espaciais. Isso permite a classificação de informações que, frequentemente, se apresentam de forma heterogênea e diversificada (Abburu, 2019).

Os modelos geométricos e semânticos de cidades também podem servir como ponto de ancoragem para diferentes componentes dos *Urban Digital Twins* ou Gêmeos Digitais Urbanos. Além dos modelos 3D estáticos, que incluem edifícios, infraestrutura de transporte, vegetação e mobiliário urbano, esses gêmeos digitais podem incorporar processos dinâmicos, como o movimento do tráfego ou mudanças nos semáforos. Um exemplo prático disso é a combinação dos resultados de simulações de tráfego com os modelos geométricos e semânticos de cidades, visualizados na *web* por meio da plataforma Cesium Language (CZML). Essa integração permite a representação detalhada do tráfego viário e dos elementos urbanos (Beil *et al.*, 2022).

Os modelos geométricos e semânticos de cidades, conforme o padrão CityGML proposto pelo Open Geospatial Consortium (OGC), constituem uma base sólida para avaliação eficiente de áreas urbanas. O padrão CityGML representa os aspectos espaciais, visuais e temáticos dos objetos urbanos, desmembrando-os e classificando-os com base em um modelo semântico de dados. Esses modelos podem ser empregados para calcular o balanço de energia, emissões e custos relacionados a edifícios individuais ou grandes conjuntos de edificações. Por exemplo, é possível combinar ou agrupar informações relacionadas aos objetos urbanos por edifício, bairro, cidade ou região (Harter *et al.*, 2023).

2.2.2 Aquisição de dados

Segundo Biljecki *et al.* (2015, p. 2843), o modelo numérico 3D de cidade tem como característica a derivação a partir de várias técnicas de aquisição, por exemplo,

fotogrametria e digitalização a laser com dados provenientes de *footprints*¹⁰; radar de abertura sintética¹¹; modelos arquitetônicos e plantas cadastrais elaborados a partir de métodos topográficos tradicionais e obtenção de dados compartilhados.

Os métodos para aquisição de dados para a modelagem geométrica de cidades e edificações podem ser diferenciados entre si pelos seguintes aspectos: precisão necessária, tempo demandado na aquisição, objetivo de uso do modelo, tamanho e complexidade geométrica do objeto ou extensão da área em estudo (Groetelaars; Nascimento; Amorim, 2020).

O processo de geração de modelos geométricos de cidades pode ser subdividido em dois grupos principais (Álvarez *et al.*, 2018):

- 1) Métodos que utilizam dados existentes para a modelagem. Nesse grupo, destacam-se:
 - O uso de plantas cadastrais ou imagens de satélite como base para uma modelagem simplificada.
 - A utilização de programas com bibliotecas de tipos de edificações.
- 2) Métodos que utilizam dados novos:
 - Restituição fotogramétrica (seja de forma interativa ou automatizada).
 - Varredura a laser (*laser scanning* terrestre¹² ou aerotransportado¹³).

Algumas técnicas digitais de aquisição mais precisas de dados geométricos de edificações e cidades se destacam, como os sistemas baseados na varredura a laser – *3D Laser Scanning* e a restituição fotogramétrica automatizada – *Dense Stereo*

¹⁰ *Footprints* correspondem ao perímetro externo das edificações representadas sobre um mapa ou um modelo digital de terreno.

¹¹ *Synthetic Aperture Radar* (SAR): é um tipo de sistema de radar que consiste em processar, mediante algoritmos, a reflexão de uma onda eletromagnética na superfície de um objeto a fim de obter uma imagem mais precisa da área de interesse do que seria possível usando um radar tradicional, que capta a energia refletida pela superfície diretamente.

¹² *Terrestrial Laser Scanning* (TLS) – equipamento posicionado sobre ou próximo à superfície terrestre, podendo ser fixo (estático) ou em plataforma móvel (dinâmico). Adequado para levantamentos rápidos, precisos e detalhados de pequenos objetos a grandes edificações (Groetelaars, 2015).

¹³ *Aerial Laser Scanning* (ALS).

Matching (DSM)¹⁴, que geram nuvens de pontos (Groetelaars; Nascimento; Amorim, 2020).

O *laser scanning* do tipo *Light Detection and Ranging* (LIDAR) se destaca como tecnologia adequada para captura de dados, devido à sua grande precisão e ao curto tempo de trabalho em campo. Essa tecnologia tem se mostrado eficaz em diversas aplicações, como mapeamento topográfico, modelagem 3D e monitoramento ambiental (Bobkowska *et al.*, 2017).

A varredura a laser é um sistema de captura de dados que permite a obtenção de coordenadas tridimensionais de pontos da superfície terrestre e de objetos sobre ela, a partir da emissão de pulsos de raios laser disparados por um sensor. O processo baseia-se no tempo e na intensidade de emissão/retorno do pulso laser, que permite o cálculo da distância entre o ponto de reflexão do pulso e o sensor. Este sistema permite captar informações sobre o terreno, as edificações, bem como sobre os demais objetos como vegetação, vias, postes etc. (Jesus *et al.*, 2018, p. 2).

Essa capacidade de coleta de dados tridimensionais é fundamental para a representação digital precisa das superfícies terrestres e urbanas.

A tecnologia *3D laser scanning* permite obter modelos geométricos (tridimensionais) – “nuvens de pontos” – a partir da varredura do objeto com feixes de raios laser, efetuado por um equipamento específico (*3D laser scanner*). Cada um dos pontos que constitui a “nuvem de pontos” é representado por suas coordenadas cartesianas (x, y, z) e um ou mais atributos associados ao mesmo (Groetelaars, 2015, p. 100).

Esta pesquisa utilizou dados obtidos por meio da tecnologia *laser scanning* aerotransportado ou *Aerial Laser Scanning* (ALS). Nesse método, são empregados sensores remotos, como o *laser scanning* do tipo LIDAR, posicionados em aeronaves ou outras plataformas. Essa abordagem é especialmente adequada para o levantamento de grandes áreas urbanas.

2.2.3 Representação digital de superfícies

A representação de dados por meio da nuvem de pontos é eficiente e eficaz, pois a partir dela é possível criar Modelos Digitais de Terreno (MDT) e Modelos Digitais de Superfície (MDS). Esses dados podem ser utilizados em projetos que visam a

¹⁴ Processamento digital de fotografias realizado por programas específicos para restituição fotogramétrica automatizada (Groetelaars; Nascimento; Amorim, 2020).

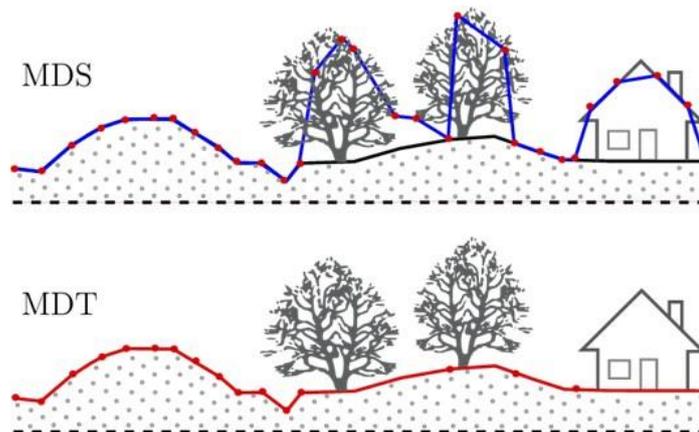
elaboração/atualização de base cartográfica, obtenção da cota Z para a criação de modelos geométricos de cidades, bem como em diversas outras aplicações urbanas (Jesus *et al.*, 2018).

Em termos gerais, o MDS é compreendido como a representação da superfície do terreno, incluindo todas as feições¹⁵ presentes sobre ela, como vegetação e edificações (feições antrópicas¹⁶), desta forma, o MDS registra apenas a altitude mais elevada de cada ponto (Li *et al.*, 2005).

A produção de modelos digitais de terreno apresenta o desafio em distinguir as feições que representam o terreno em si das feições que correspondem aos objetos acima do terreno, como edificações e vegetação (Centeno; Mitishita, 2007). Uma abordagem para determinar a altura desses objetos acima do terreno é realizar a normalização do MDS. Isso significa calcular a diferença entre o MDS e o MDT para obter diretamente os valores das alturas das edificações, por exemplo. Essa técnica permite isolar e quantificar as alturas das feições acima do terreno, facilitando a análise e o mapeamento preciso desses elementos (Jesus *et al.*, 2018).

A Figura 6 apresenta um exemplo de como procede a distinção entre o MDS e o MDT.

Figura 6 - Exemplo da distinção entre o MDS e o MDT



Fonte: Carrilho (2016).

¹⁵ Feições são características distintas ou elementos identificáveis de um determinado contexto geográfico, como terreno, superfície ou paisagem. Essas feições podem incluir elementos naturais, como rios, montanhas, vegetação, bem como elementos criados pela atividade humana, como estradas, edifícios e outras estruturas.

¹⁶ As feições antrópicas são características ou elementos do ambiente que são criados, modificados ou influenciados pela atividade humana.

A escolha da técnica a ser utilizada está relacionada também ao nível de detalhe que se deseja alcançar (Jesus *et al.*, 2018). Os dados obtidos por meio da tecnologia LIDAR aerotransportada são adequados para a geração de modelos digitais compatíveis com os LOD0, LOD1 e LOD2, enquanto os dados provenientes da fotogrametria de curta distância (ou terrestre) são mais apropriados para a geração de modelos digitais nos LOD3 e LOD4 (Akmaliaa *et al.*, 2014). Essa distinção indica as diferentes capacidades e aplicabilidades dessas tecnologias na geração de modelos digitais do terreno e da superfície, levando em consideração o nível de detalhe desejado para a representação tridimensional do ambiente geoespacial.

2.2.4 Aplicações

Os modelos numéricos 3D de cidades frequentemente são empregados para visualização e exploração gráfica de paisagens urbanas, e podem ser expandidos para aplicações como simulações ambientais, planejamento urbano, gestão de instalações, gerenciamento de desastres, segurança e navegação pessoal¹⁷. Para isso, é necessário dispor de informações detalhadas sobre os objetos urbanos, permitindo a criação de um modelo semântico da cidade que englobe aspectos espaciais e gráficos. Esse modelo inclui classes temáticas, atributos e suas inter-relações (Kolbe, 2009, p. 15).

A visualização dominou os primeiros usos dos modelos numéricos 3D de cidades, no entanto, conforme a tecnologia avança, estes se destacam para outros fins e podem ser utilizados em muitos domínios, tais como simulações ambientais e apoio à gestão (Biljecki *et al.*, 2015).

Em Biljecki *et al.* (2015), foram identificadas algumas aplicações que utilizam modelos numéricos 3D de cidades, acompanhadas de exemplos práticos de sua utilização (ver Quadro 1).

¹⁷ A navegação pessoal nas cidades geralmente utiliza tecnologias como GPS (*Global Position System*), que permite determinar a localização, o mais precisa possível, do usuário, e serviços de mapas digitais, que exibem as informações necessárias para a navegação.

Quadro 1 – Algumas aplicações utilizando modelo numérico 3D de cidade

	Caso de uso	Exemplo de aplicação
Não visualização	Estimativa do potencial de energia solar	Determinar a adequação do telhado para a instalação de painéis fotovoltaicos
	Estimativa de demanda de energia	Avaliação do retorno de um <i>retrofit</i> de energia em uma edificação
	Estimativa da dimensão interna das edificações, de acordo à legislação	Tributação e avaliação das edificações
	Classificação de tipos de edifícios	Enriquecimento semântico dos conjuntos de dados; gestão imobiliária
Visualização	Geo-visualização	Simulação de voo
	Posicionamento de veículos em ambientes urbanos (Löwner; Sasse; Hecker, 2010; Cappelle <i>et al.</i> , 2011)	Geolocalização de veículos e detecção de obstáculos. O modelo numérico 3D da cidade é uma representação realista do ambiente de evolução de um veículo
	Análise de visibilidade	Encontrar o local ideal para instalar câmeras de segurança
	Estimativa de sombras lançadas pelos edifícios – planejamento urbano	Determinação dos envelopes solares
	Estimativa da propagação do ruído em um ambiente urbano	Planejamento de tráfego; estudo de barreiras sonoras
	Cadastro 3D	Registro de propriedade
	Visualização para navegação	Navegação
	Planejamento urbano	Visualização do ambiente urbano; investigação de objetos urbanos que poderiam interferir no planejamento de uma nova linha de metrô; análise temporal de mudanças na paisagem e simulação de tráfego
	Visualização para comunicação urbana; informação aos cidadãos	Tour virtual
	Reconstrução da direção da luz solar	Reconhecimento de objetos
	<i>Synthetic Aperture Radar</i> (SAR) ou Imagens de radar de abertura sintética	Interpretação de dados de radar
	<i>Facility Management</i>	Gestão de utilidades (redes de serviços)
	Montagem automática de andaimes	Engenharia Civil
	Resposta de emergência	Planejamento da evacuação
	Simulação de iluminação	Planejamento de iluminação, pontos de referência
	Propagação de ondas de rádio	Otimização da infraestrutura de rádio
	<i>Computational Fluid Dynamics</i> (CFD)	Prevê a qualidade do ar; ambiente térmico urbano; efeitos físicos de detonações – riscos (pessoas e estrutura)
Simulação do quantitativo da população de uma área a partir do tamanho da edificação e tipo	Gestão de crises	

	Caso de uso	Exemplo de aplicação
	Roteamento	Compreende a acessibilidade, rotas e caminhos acessíveis
	Previsão de danos sísmicos	Seguros
	Inundações	Atenuação de danos na gestão de serviços públicos
	Detecção de alterações para melhorar a qualidade de um inventário para a cidade	Inventário urbano (ex.: detectar reforma e ampliação de uma residência)
	Estudos de densidade volumétrica	Estudos urbanos (dispersão de poluentes)
	Gestão florestal	Navegação florestal; gestão sustentável, previsão do crescimento das árvores
	Arqueologia	Visualização de sítios antigos; gestão de escavações

Fonte: Adaptado de Biljecki *et al.* (2015).

Os modelos numéricos 3D de cidade são cada vez mais utilizados como plataformas de informação para simulações, incluindo análises ambientais (como poluição do ar, clima da cidade e dispersão de ruído) e planejamento energético. No entanto, para que esses modelos sejam eficazes nessas finalidades, os objetos 3D precisam ir além da representação geométrica e espacial. Eles também devem incorporar significado, propriedades temáticas e interrelações lógicas. Essas informações semânticas enriquecem o modelo, tornando-o aplicável em diversas situações (Kolbe; Burger; Cantzler, 2015).

Sob o aspecto econômico, faria mais sentido se o modelo semântico das cidades pudesse ser utilizado por diferentes clientes em múltiplas aplicações. Com esse propósito, surge o padrão CityGML, com o objetivo de atender às necessidades comuns de entidades, atributos e relações básicas dentro de um modelo numérico 3D de cidade (Kolbe, 2009).

Ainda como apoio ao aspecto econômico e de integração, para que o modelo numérico 3D de cidade possa ser utilizado de forma partilhada é necessário ter a garantia de elevado grau de interoperabilidade para não ficar preso a um fornecedor ou sistema (Kolbe; Burger; Cantzler, 2015).

Podem ser acrescentadas ainda a geo-visualização¹⁸, análise de visibilidade, estimativa de demanda de energia¹⁹, resposta a emergências, gestão de crises, simulação de iluminação, qualidade do ar, análise de acessibilidade, mitigação de inundações, gestão do espaço verde e gestão de instalações (Shahrour; Alileche; Alfurjani, 2017).

Mais alguns campos potenciais de aplicação são descritos a seguir (Beil *et al.*, 2020, p. 8):

- Planejamento e gestão de infraestrutura: simulações visuais de áreas construídas e espaço livre podem ser utilizadas para planejar diferentes cenários e realizar esforços e análises de custos;
- Aplicações automotivas: o conhecimento sobre a forma exata dos objetos do espaço viário, informações de tráfego de outros usuários das vias como ciclistas, simulação do comportamento do pedestre, informações do comprimento e largura das ruas, são dados fundamentais para a construção do ambiente 3D a ser utilizado em aplicações de condução autônoma;
- Simulações e análises ambientais: identificação de ilhas de calor através do cruzamento de dados do modelo numérico 3D de cidade e dados de irradiação solar, simulação de qualidade do ar e áreas de trânsito de pedestres, informações de elevação podem ser a base para simulação de escoamento de águas pluviais, evitando alagamentos;
- Administração fundiária e mapeamento topográfico: descrição detalhada da superfície da terra no contexto de paisagem digital e mapeamento topográfico, para auxiliar administrativamente (direito de uso da terra, propriedade, tributação etc.) e auxiliar na gestão de ativos de infraestrutura rodoviária.

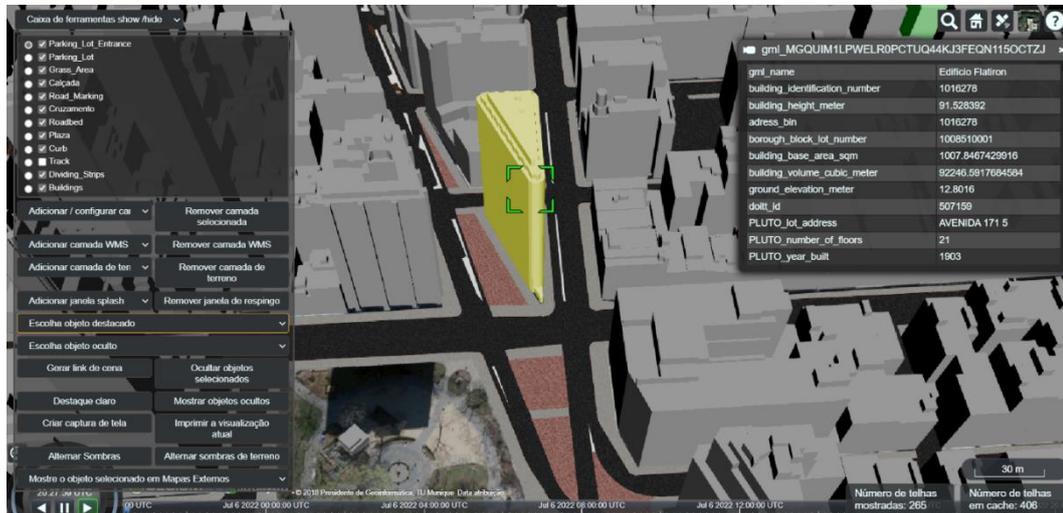
Na cidade de New York foi testada a representação detalhada do espaço público, cujos dados com informações geométricas e semânticas foram coletados no portal de

¹⁸ Representação visual interativa de ambientes urbanos.

¹⁹ Os modelos numéricos 3D de cidades podem ser associados a outras ferramentas que simulam o consumo de energia, a partir do acompanhamento dos padrões de consumo nas áreas urbanas. Este tipo de aplicação pode ser utilizada para otimizar a infraestrutura energética ou desenvolver estratégias mais sustentáveis.

dados abertos da cidade de New York - NYC Open Data Portal (Beil *et al.*, 2020, p. 19). A Figura 7 demonstra um trecho da Cidade de New York a partir do estudo desenvolvido pela Universidade Técnica de München (TUM, 2023).

Figura 7 - Visualização do modelo geométrico e semântico da Cidade de New York



Fonte: Disponível em: NYC_Detailed_Road_Model (3dcitydb.org). Acesso em: 5 jul. 2022.

Esses dados foram transformados, manipulados e integrados usando o software Feature Manipulation Engine (FME), para gerar conjuntos de dados compatíveis com o CityGML. A Figura 7 mostra a edificação em destaque na cor amarela e a tabela na lateral com as informações semânticas.

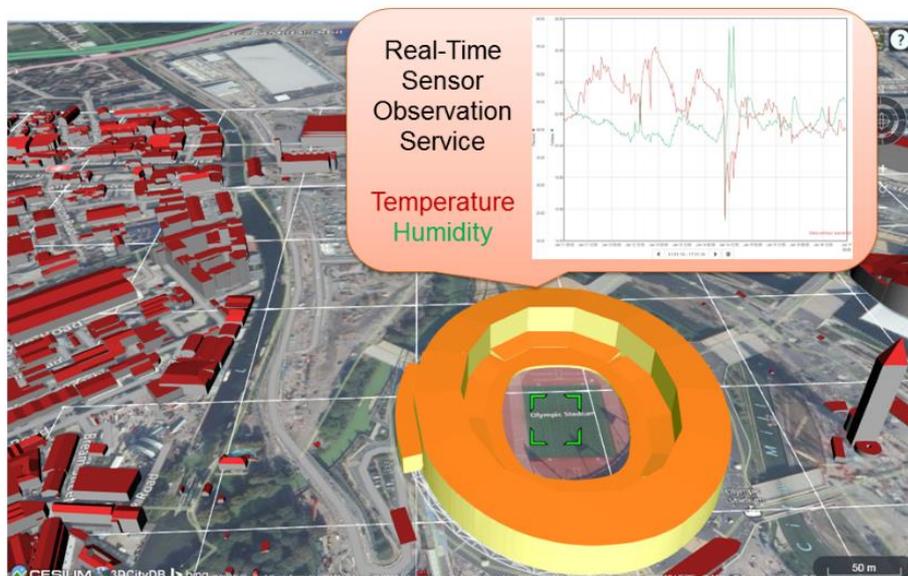
O estudo de caso realizado no distrito Queen Elizabeth Olympic Park em Londres, no âmbito da infraestrutura de dados de distritos inteligentes, introduz o conceito de um modelo de distrito virtual, através da modelagem de objetos do distrito físico, enriquecido com informações semânticas. Este modelo é estruturado em três componentes (Chaturvedi; Kolbe, 2016, p. 32):

- *Topography Information Model*, que fornece descrição e inventário do ambiente físico, incluindo edifícios, ruas, terreno e outros elementos, baseado em CityGML;
- *Network Models*, que define comportamentos funcionais, os recursos e seus fluxos, por exemplo, o transporte, energia, água ou redes de comunicação;
- *Visualization Model*, que podem estar *online* ou não.

Estes modelos podem ser utilizados em diferentes aplicações e podem ser relacionados a bases de dados com informações dos objetos modelados. Segundo os autores, o principal foco é fornecer ligações a dados dinâmicos em tempo real, tais como valores de consumo medidos por contadores inteligentes instalados em edificações ou fluxos de tráfego de automóveis ou de pedestres nas ruas.

A Figura 8 representa o modelo do distrito virtual do Queen Elizabeth Olympic Park em Londres no formato CityGML LOD2²⁰ que ilustra a visualização em tempo real dos dados coletados de sensores instalados em objetos da cidade.

Figura 8 - Sensor para observar as variações de temperatura



Fonte: Chaturvedi e Kolbe (2016, p. 32).

Exemplos de modelos numéricos 3D incluem o distrito de Landkreis Ludwigsburg, na Alemanha, o bairro do Brooklyn, nos Estados Unidos, e em Wüstenrot, também na Alemanha. Em Wüstenrot, um painel interativo apresenta dados estáticos e dinâmicos de consumo de energia em tempo real, medidos por sensores integrados ao modelo (Würstle *et al.*, 2020).

A aceitação e implementação do modelo numérico 3D de cidades, principalmente no formato CityGML, impulsionou significativamente o desenvolvimento e a visualização de dados de consumo de energia pelas edificações em áreas urbanas. Estes modelos

²⁰ *Level of Detail* (LOD) ou Nível de Detalhe, conceito fundamental em modelagem geométrica e amplamente utilizado em contextos como CityGML e BIM. O CityGML utiliza diferentes níveis de detalhe para representar objetos urbanos.

representam virtualmente os elementos físicos e são utilizados em softwares de simulação de energia urbana, como o SimStadt, que emprega o modelo numérico 3D de cidades para gerar perfis de demanda de energia ao longo do tempo sob diferentes condições climáticas. Além disso, o SensorThings API²¹ foi adotado como padrão OGC e utiliza dados provenientes de diversos sistemas de sensores, integrando-os aos modelos numéricos 3D de cidades (Würstle *et al.*, 2020).

Os autores realizaram experimentos com o painel de instrumentos de energia urbana em três regiões distintas:

- Landkreis Ludwigsburg, na Alemanha, apresenta dados energéticos sobre a demanda de energia para aquecimento. O modelo numérico 3D de cidade é utilizado para calcular a necessidade de energia térmica destinada ao aquecimento das edificações, por meio do software SimStadt, e é visualizado *online* no CesiumJS (Figura 9).

Figura 9 - Aplicação em Landkreis Luwigsburg



Fonte: Würstle *et al.* (2020, p. 523).

- No Brooklyn, EUA, o trabalho foi desenvolvido com base em valores reais do conjunto de dados de demanda por energia térmica. O monitoramento do padrão de consumo de energia térmica em uma área urbana é realizado levando em consideração as dimensão e estrutura das edificações, possibilitando assim o planejamento futuro. A Figura 10 apresenta a

²¹ API - Application Programming Interface

visualização *online* dos dados de demanda por energia utilizada para aquecimento das edificações no modelo numérico 3D de cidade.

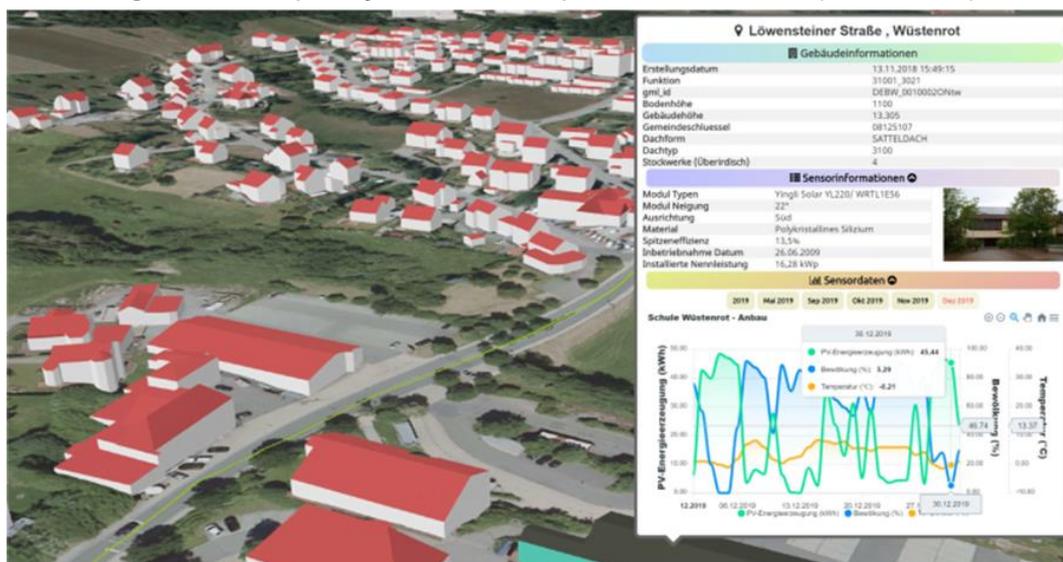
Figura 10 - Aplicação no Brooklyn



Fonte: Würstle *et al.* (2020, p. 523).

- Em Wüstenrot, um município na Alemanha, foram utilizados dados de diferentes sensores para visualizar os índices de produção de energia nas edificações. Esses dados provêm de painéis solares e de informações ambientais geradas por uma usina agro térmica. No modelo desenvolvido, é possível visualizar a produção de energia de cada edificação, permitindo uma análise mais precisa da eficiência na região (Figura 11).

Figura 11 – Aplicação no município de Wüstenrot (Alemanha)



Fonte: Würstle *et al.* (2020, p. 527).

Os exemplos de modelos numéricos 3D mencionados (Landkreis Ludwigsburg, Brooklyn e Wüstenrot) demonstram como o CityGML é aplicado na prática e ilustram como o CityGML permite a integração de dados semânticos e geométricos. Essa integração contribui para a manutenção sustentável e econômica das cidades, possibilitando a reutilização desses dados em diversos campos de aplicação. O padrão CityGML apresenta uma definição comum das entidades básicas, atributos e relações de um modelo numérico 3D de cidade (Gröger *et al.*, 2012).

2.2.5 Representação das variadas escalas do modelo

O CityGML é aplicável a grandes áreas e pequenas regiões e pode representar o terreno e objetos 3D em diferentes níveis de detalhe simultaneamente. Os modelos podem ser representados de forma simples em escala única, sem topologia e pouca semântica, ou modelos multiescala complexos, com ampla topologia e diferenciações semânticas refinadas (Gröger *et al.*, 2012).

As escalas são denominadas de Nível de Detalhe ou *Level of Detail* (LOD). Segundo Gröger e Plümer (2012), o conceito de LOD no CityGML difere dos conceitos utilizados na computação gráfica, em que os objetos distantes do observador são mostrados de forma simplificada, enquanto os objetos próximos são exibidos de forma mais detalhada.

No CityGML, o LOD não se restringe apenas à geometria; ele também abrange a semântica. Em um conjunto de dados CityGML, o mesmo objeto pode ser representado em diferentes LOD simultaneamente, permitindo a análise e visualização desse objeto em diferentes graus de resolução. Esses níveis de detalhe podem ser classificados em cinco níveis consecutivos: LOD0, LOD1, LOD2, LOD3 e LOD4 (Figura 12). À medida que o LOD aumenta, os objetos se tornam mais detalhados em relação à geometria e à diferenciação temática (Kolbe, 2009).

Figura 12 - Os cinco níveis de detalhes para edificações do CityGML 2.0

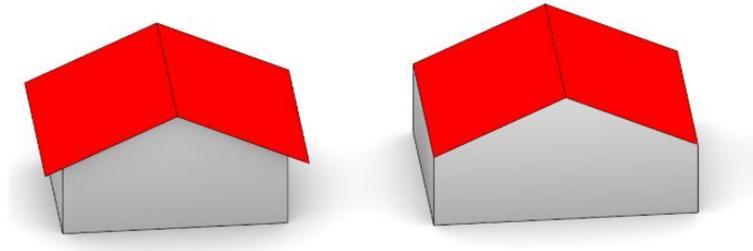


Fonte: Biljecki, Ledoux e Stoter (2016, p. 26).

Quanto aos níveis de detalhe relacionados às edificações, o LOD0 é o mais simples, representado por um *footprint* (perímetro externo da edificação), sem representação volumétrica; o LOD1 é um modelo prismático grosseiro geralmente obtido pela extrusão de um modelo LOD0; o LOD2 é um modelo com formato de telhado simplificado, mas com as partes do objeto modeladas em múltiplas classes semânticas (por exemplo, telhado e parede); o LOD3 é um modelo arquitetonicamente detalhado com janelas, portas, telhado e vãos, mais complexo que o anterior e o LOD4 completa o LOD3 incluindo espaços internos como salas, escadas e mobiliário (Kolbe, 2009).

A categoria LOD torna os conjuntos de dados comparáveis e tanto o fornecedor quanto o usuário/cliente têm uma ideia da complexidade e precisão dos dados (Kolbe, 2009). O objetivo principal é diferenciar a qualidade dos dados resultantes de diferentes fluxos de trabalho de produção, e eles são orientados tanto pela semântica quanto pela geometria, mas embora os cinco LOD geralmente forneçam uma categorização do nível geral de abstração, conteúdo, valor e usabilidade dos modelos de cidades 3D. Esta classificação apresenta algumas desvantagens e deficiências. Um dos exemplos, quanto à geometria, é apresentado na Figura 13: dois modelos em LOD2, adquiridos com técnicas distintas, apresentam características diferentes. No modelo da esquerda, as paredes estão na sua localização real e o telhado tem beiral, enquanto na representação da direita as paredes fazem parte da projeção do contorno do telhado (Biljecki; Ledoux; Stoter, 2016). O LOD é o mesmo, mas é possível perceber que os resultados são diferentes e interferem em análises espaciais como, por exemplo, o volume mais preciso da edificação.

Figura 13 - Duas variantes de LOD2



Fonte: Biljecki, Ledoux e Stoter (2016, p. 27).

Desta forma, foi preciso realizar ajustes para melhorar o nível de detalhamento dos modelos. E segundo Kutzner, Chaturvedi e Kolbe (2020, p. 48), o conceito de LOD no CityGML 3.0 passa por ajustes, compreendendo uma definição central de todas as geometrias no módulo Core²² e a representação no interior dos objetos da cidade em qualquer nível de detalhe. Algumas das alterações são descritas a seguir:

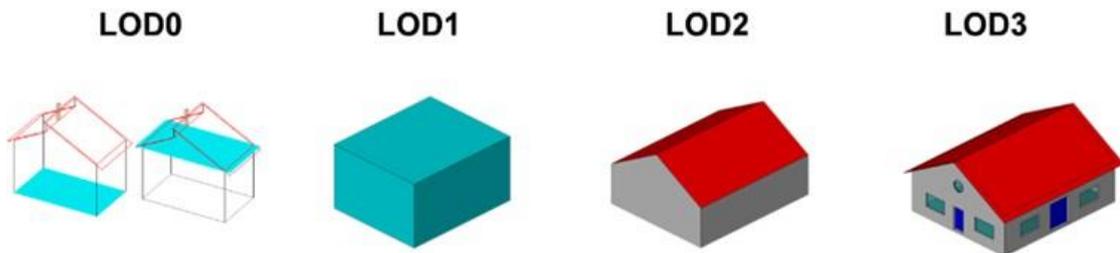
- Quase todas as representações de geometria são transferidas dos módulos temáticos para o módulo *Core* e estão associadas aos conceitos semânticos de espaços e limites de espaço;
- Os espaços e suas subclasses como: *Building*, *Room* e *TrafficSpace* podem ser representados como pontos únicos em LOD0, multi-superfícies em LOD0/2/3, sólidos em LOD1/2/3 e multi-curvas em LOD2/3. Os limites espaciais e suas subclasses, como *WallSurface*, *LandUse* ou *Relief*, podem ser representados como multi-superfícies em LOD0/2/3 e como multi-curvas em LOD2/3;
- Permanecem apenas os LOD 0/1/2/3, e o interior dos objetos pode ser representado de forma integrada a esses. Por exemplo, é possível modelar a caixa externa da edificação em LOD1, enquanto a representação interna está em LOD2 ou 3.

²² O módulo *Core* do CityGML 3.0, quanto ao nível de detalhe (LOD), refere-se aos elementos essenciais que são comuns a todos os níveis de detalhe no padrão CityGML. Isso inclui a geometria, informações semânticas, topologia e aparência dos objetos urbanos. Estas são as bases para a representação e troca de dados geoespaciais em um ambiente urbano tridimensional.

Os objetos se tornam mais detalhados com o aumento do LOD em relação à sua geometria. A Figura 14 apresenta representações diferentes da mesma edificação do LOD0 ao LOD3 (Heazel, 2021):

- LOD0 – pela projeção da ‘casca’ da edificação (*footprint*) ou do seu telhado;
- LOD1 – através da extrusão de um polígono que representa o *footprint* da edificação;
- LOD2 – sólido com a representação do telhado, sem beiral, e
- LOD3 – pela aparência completa, com paredes, telhado com beiral, portas e janelas.

Figura 14 - Representação da mesma edificação nos Níveis de Detalhe 0-3



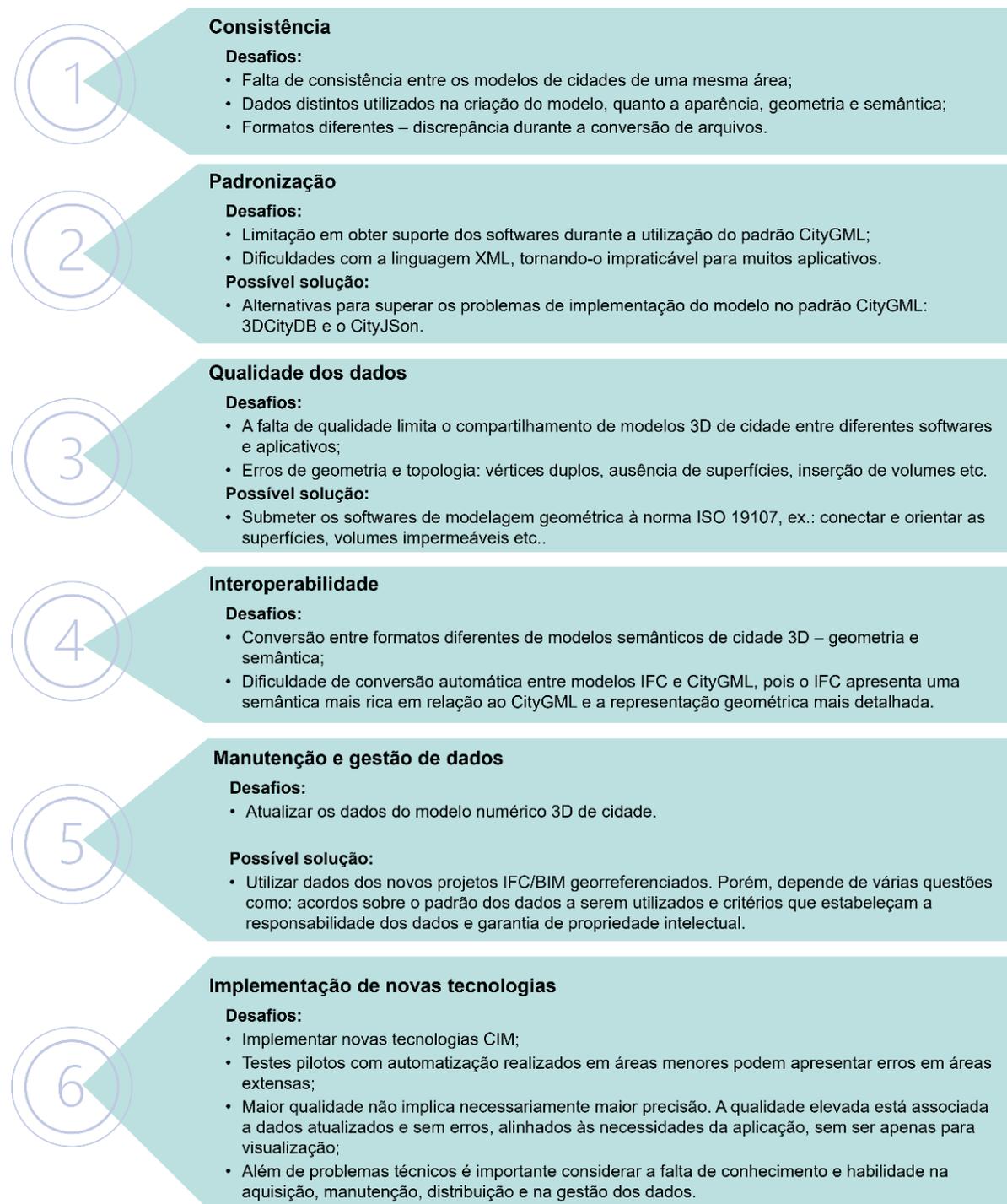
Fonte: Heazel (2021).

No padrão CityGML, além da representação geométrica e consistência semântica em termos de LOD, é importante considerar a textura (Shan; Li; Zhang, 2019). As aparências não se limitam a dados visuais, mas representam categorias arbitrárias chamadas temas, como radiação infravermelha, ruído ou emissão de luz solar, ou mesmo problemas na fachada resultantes de terremotos etc. Ou seja, a aparência pode servir como dados de visualização e análise (Kolbe, 2009).

2.2.6 Desafios a serem superados

Stoter *et al.* (2020) descrevem alguns desafios a serem superados na implementação de aplicações mais elaboradas que fazem uso dos modelos numéricos 3D de cidades enriquecidos semanticamente (Figura 15).

Figura 15 – Desafios e possíveis soluções da utilização dos modelos numéricos 3D de cidade



Fonte: Elaborado pela autora com base em Stoter *et al.* (2020).

Estes são alguns dos principais desafios enumerados pelos autores e algumas possíveis soluções. No primeiro item é abordado o desafio em se ter consistência entre modelos numéricos 3D de cidades de uma mesma área. Geralmente os dados são obtidos de forma independente e são utilizados métodos de reconstrução em

softwares distintos. Esse processo pode resultar em diferenças significativas na geometria, aparência e semântica (Stoter *et al.*, 2020).

O segundo desafio se refere à padronização, que é fundamental para garantir a consistência da geometria e semântica dos modelos. O CityGML é considerado um dos principais padrões de armazenamento e troca entre modelos geométricos de cidade. Tem como objetivo definir as classes básicas usadas para descrever os tipos mais comuns de objetos que compõem o modelo numérico 3D de cidade, com seus atributos e relações entre objetos (Stoter *et al.*, 2020).

O CityGML utiliza uma variação extensa de conjunto de dados, por exemplo: edifícios, relevo, uso do solo, rodovias e ferrovias, vegetação, pontes e mobiliário da cidade, ou até mesmo o uso de extensões de domínios específicos (ADE)²³ e o uso de linguagens de difícil compreensão, como a representação baseada em XML ou GML com dados codificados. Nesse contexto, entende-se que seria essencial o suporte das ferramentas, mas essa grande variedade de aplicações dificulta este apoio.

Diante das dificuldades enfrentadas com a linguagem XML na implementação do CityGML, o 3D City Database (3DCityDB) surge como uma solução eficaz. Essa abordagem oferece várias vantagens:

- **Armazenamento Relacional:** Ao usar um banco de dados relacional como Oracle Spatial ou PostGIS, o 3DCityDB permite que os dados sejam armazenados de maneira mais estruturada e eficiente. Isso facilita consultas complexas e a manipulação de grandes volumes de dados geoespaciais.
- **Integração de Dados:** O 3DCityDB permite a integração de diferentes tipos urbanos, como informações sobre infraestrutura, uso do solo e características ambientais. Essa integração é crucial para análises abrangentes e para a criação de visualizações mais ricas.
- **Facilidade de Acesso:** A estrutura relacional do 3DCityDB possibilita consultas SQL, que são amplamente conhecidas e utilizadas, garantindo que

²³ A *Extension of Application Domain* (ADE) será melhor detalhada na seção 2.2.7.

profissionais da área possam acessar e manipular os dados sem a necessidade de se aprofundar na linguagem XML.

- **Desempenho Aprimorado:** O uso de um banco de dados relacional pode melhorar o desempenho em termos de velocidade e eficiência na recuperação de dados, especialmente quando se trata de grandes conjuntos de informações 3D.
- **Flexibilidade e Escalabilidade:** O 3DCityDB é projetado para ser flexível e escalável, permitindo que novas funcionalidades sejam facilmente adicionadas à medida que as necessidades dos usuários evoluem.
- **Open Source:** Sendo um projeto de código aberto, o 3DCityDB promove a colaboração e a inovação na comunidade, permitindo que desenvolvedores possam contribuir para melhorias contínuas e adaptem o sistema às suas necessidades específicas.

Essas características apresentam o 3DCityDB como uma opção para superar os desafios associados ao uso do formato XML no contexto do CityGML.

Outra opção é utilizar o padrão CityJson, um formato que codifica um subconjunto do modelo de dados CityGML usando JSON (*JavaScript Object Notation*). O CityJson foi projetado para ser uma alternativa mais leve e amigável ao XML usado pelo CityGML, para facilitar o trabalho com dados 3D de cidades e oferecer suporte ao desenvolvimento de ferramentas e aplicativos (Stoter *et al.*, 2020).

CityJson v1.0, padrão oficial do OGC, foi lançado em 2019. É compatível com diversos pacotes de software, incluindo visualizadores, modeladores 3D, geradores de modelos de cidades 3D e softwares SIG.

Os arquivos CityJson podem ser em média seis vezes mais compactos do que seu equivalente CityGML. É um formato de codificação de dados geoespaciais aberto, com código-fonte disponível publicamente, permitindo a colaboração e contribuição da comunidade de desenvolvedores.

Por ser aberto, é possível acessar, estudar, modificar e distribuir o formato CityJson de acordo com os termos da licença de código aberto sob a qual ele é disponibilizado.

A intenção é promover a transparência, colaboração e inovação. Esta abertura procura incentivar a interoperabilidade e a compatibilidade com diferentes ferramentas e sistemas, permitindo que os dados 3D das cidades sejam utilizados de forma mais ampla e flexível.

A conversão entre os padrões CityGML e CityJson envolve a transformação dos dados de um formato para o outro. Os dois padrões são usados para representar modelos numéricos 3D de cidades, mas diferem em sua estrutura e codificação (CityJSON, 2023). A conversão pode ser feita por algumas ferramentas, por exemplo o FME, o 3DCityDB *Importer/Exporter* e o *CityJson Converter*, mas pode envolver perda de informações, pois têm estruturas diferentes e suportam recursos com discreta distinção, conforme apresentado em destaque no Quadro 2.

Quadro 2 - Recursos suportados pelos padrões: CityGML e CityJson

Recursos suportados	CityGML	CityJson
Edifícios	Representação detalhada com informações da geometria, uso, altura, função, nº de pisos etc.	Representação com informações da geometria, uso, altura e outros atributos relacionados.
Terreno e relevo	Informações sobre alturas, contornos, encostas e outros elementos topográficos.	Informações sobre alturas, contornos e outros elementos topográficos.
Uso do solo	Representação de diferentes tipos de uso do solo, como áreas residenciais, comerciais, industriais, áreas verdes etc.	
Vegetação	Representação de diferentes tipos de vegetação: árvores, arbustos, áreas de parques e jardins, incluindo a localização e características.	
Mobiliário urbano	Representação de elementos como: bancos, postes de iluminação, lixeiras, sinalizações etc.	
Infraestrutura viária	Ruas, estradas, calçadas, ciclovias - geometria e classificação.	

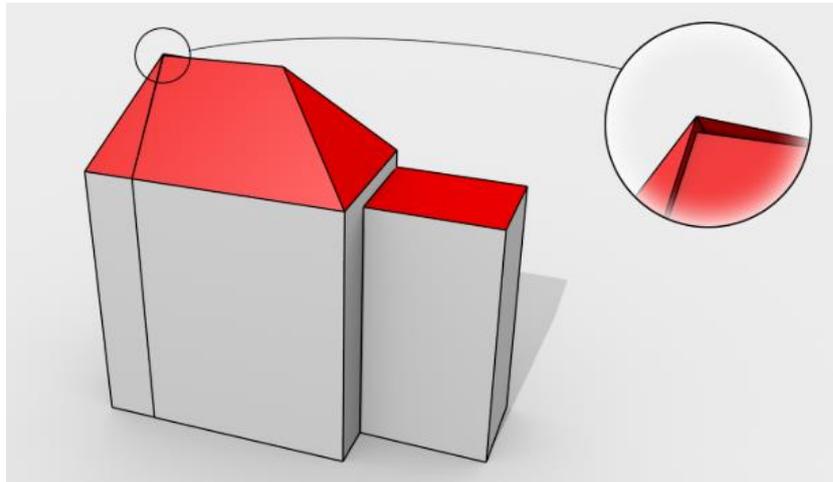
Fonte: Elaborado pela autora.

Ressalta-se a importância de se verificar se os recursos e atributos específicos dos padrões do modelo são suportados na conversão.

O terceiro desafio se refere à qualidade dos dados, pois pode limitar o compartilhamento dos modelos numéricos 3D de cidade entre diferentes softwares e aplicativos. Em Biljecki *et al.* (2016, p. 17), são listados alguns erros comuns em modelos numéricos 3D de cidades:

- Geometrias não encaixadas: esta é uma causa comum para sólidos inválidos, a Figura 16 mostra um exemplo de um sólido aberto, que geralmente só é notado com a aproximação (*zoom*).

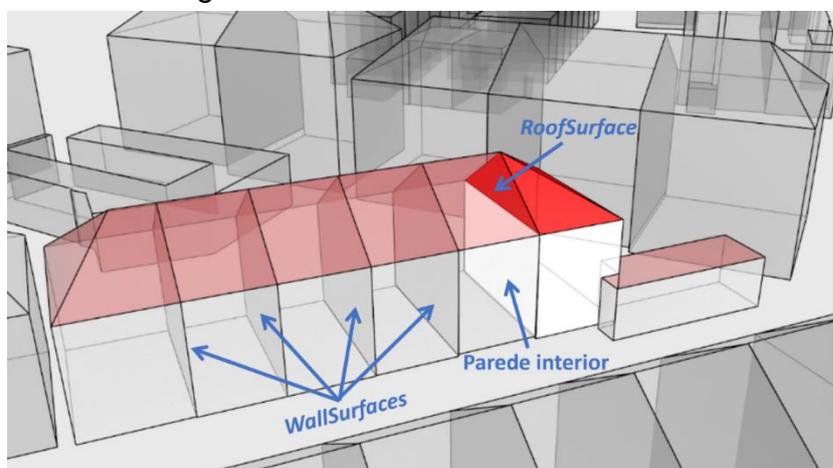
Figura 16 - Geometria não encaixada



Fonte: Biljecki *et al.* (2016, p. 18).

Semânticas inválidas: pode ocorrer a presença de superfícies com atribuições incorretas à semântica, no entanto, isso não é considerado um erro padrão, sendo casos específicos. Por exemplo, a Figura 17 ilustra duas inconsistências: uma parede interna composta por *RoofSurface* e um complexo de edifícios decomposto em múltiplos edifícios divididos por *WallSurfaces* duplicadas. Desta forma, os autores afirmam que não é possível atribuir um padrão a tal ocorrência, pois geralmente a maioria dos conjuntos de dados são semanticamente válidos, provavelmente porque foram acrescentados em uma etapa posterior;

Figura 17 - Semântica inconsistente

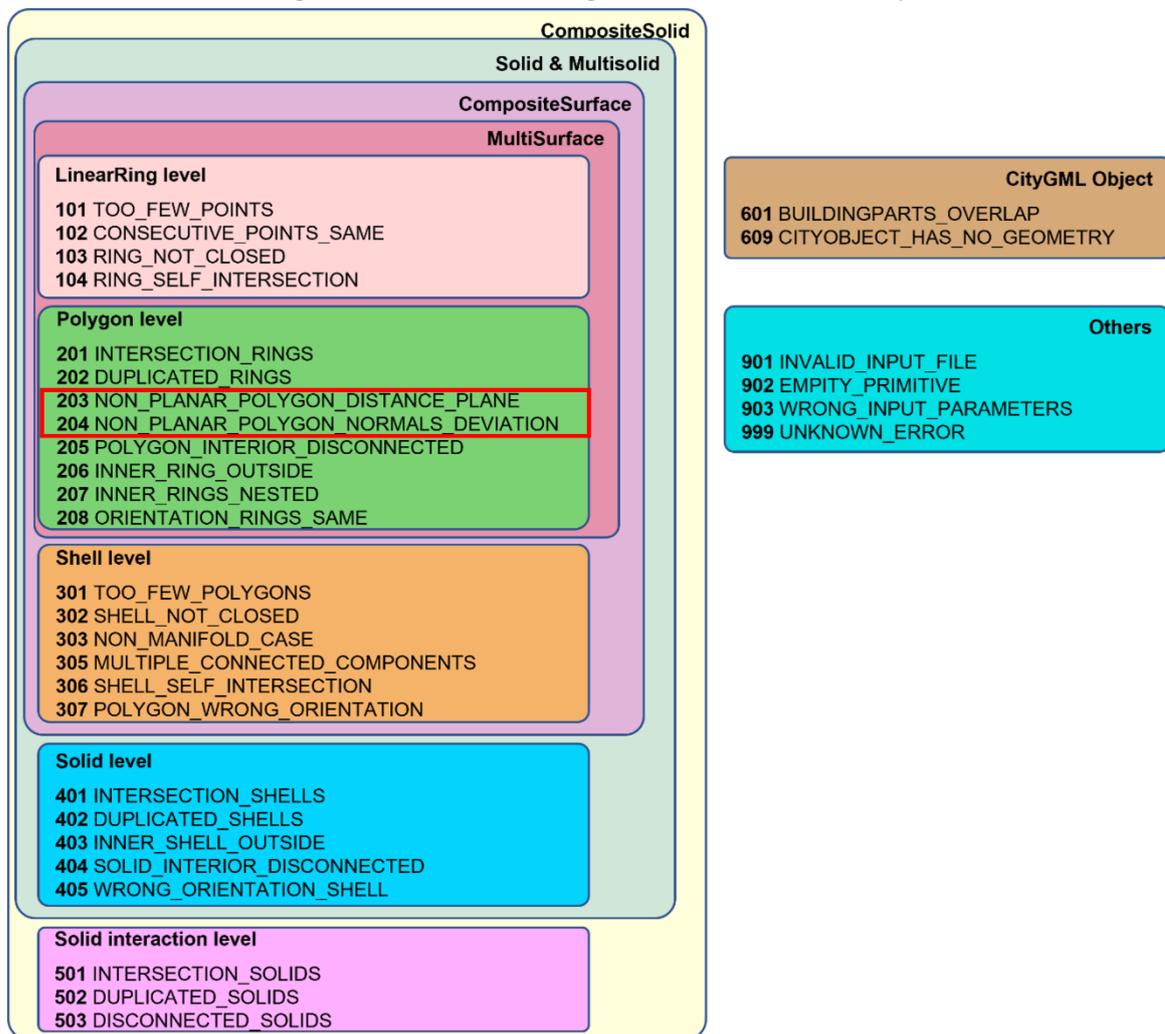


Fonte: Biljecki *et al.* (2016, p. 18).

Polígonos desnivelados: estes problemas podem causar falhas no cálculo de área ou a visualização com textura e caso o desvio seja muito acentuado, pode causar interseções com outras superfícies. A Figura 18 destaca os erros 203 e 204 do Val3dity, ferramenta que permite validar primitivas 3D de acordo com as definições da ISO19107 e GML.

- O erro 203, “*non planar polygon distance plane*”, indica que um polígono não está alinhado corretamente com um plano, o que pode resultar em problemas de geometria e na invalidação do sólido. Ou seja, pode representar que a superfície do polígono não está plana ou não está alinhada com o plano desejado. Esse problema pode envolver ajustes de orientação, posição ou forma do polígono para garantir que se encaixe adequadamente no modelo geométrico.
- O erro 204, “*non planar polygon normals deviation*”, indica que há um desvio nas normais dos polígonos no modelo geométrico. Ou seja, as faces do polígono não estão alinhadas corretamente ou não formam superfícies planas. Esse tipo de erro pode afetar a visualização e a análise do modelo, pois as normais das faces são utilizadas para determinar a orientação e a iluminação corretas durante a renderização. Para corrigir o erro 204, é necessário ajustar a geometria do modelo para garantir que as normais dos polígonos estejam corretamente alinhadas e que as faces formem superfícies planas.

Figura 18 - Os 32 códigos de erro do Val3dity



Fonte: Adaptado de Ledoux (2018).

Geralmente estes erros impedem que os conjuntos de dados sejam usados em outros softwares e para aplicações avançadas (Stoter *et al.*, 2020). Biljecki *et al.* (2016) comentam sobre a dificuldade para alcançar uma solução universal para reparar automaticamente os dados e que seria mais proveitoso se concentrar na prevenção de erros durante a modelagem. Acreditam que a reparação manual continuará como método preferido para sanar os problemas de validação dos modelos numéricos 3D de cidades por um bom tempo.

Mas, é importante ressaltar que alguns erros podem não afetar a aplicação pretendida, enquanto outros podem impedir completamente a sua utilização. Ou seja, não se trata apenas de analisar a quantidade de erros nos modelos numéricos 3D de cidade, mas identificar os que têm um impacto maior sobre as aplicações. Por exemplo, a utilização para fins de visualização é provavelmente menos propensa a erros do que a utilização

em aplicações tais como a simulação do fluxo de ar em uma cidade com dinâmica de fluidos computacional (Biljecki *et al.*, 2016).

Além da utilização dos modelos numéricos 3D de cidades em análises espaciais, os erros podem influenciar no armazenamento em bases de dados, manutenção de dados e conversão para outros formatos. Por exemplo, os polígonos não planares podem apresentar problemas na triangulação, ao converter modelos CityGML para formatos de computação gráfica, tais como OBJ (Biljecki *et al.*, 2016).

Outra solução que pode ser considerada é a utilização de algoritmos de reparo automático. No entanto, ainda são muitas vezes semi-manuais²⁴, e a correção de um erro pode vir a gerar outro em outro local (Stoter *et al.*, 2020).

O quarto desafio, segundo Stoter *et al.* (2020), é a interoperabilidade de dados, pois a conversão de modelos numéricos 3D de cidade de um formato para outro não é uma tarefa fácil, tanto do ponto de vista geométrico, quanto por causa da semântica incompatível. Por exemplo, a conversão do padrão IFC²⁵, oriundo da modelagem da informação da construção (BIM), super detalhado, para o padrão CityGML, que tem um número limitado de classes, geralmente recai em uma série de problemas, pois diferentes informações semânticas são anexadas aos primitivos geométricos nos dois modelos.

O quinto desafio aborda a manutenção e gestão dos dados, no qual organizações governamentais já percebem o quão desafiador será manter os dados do modelo numérico 3D de cidade atualizados. Stoter *et al.* (2020) consideram utilizar as informações de novos projetos estruturados em modelos IFC / BIM. No entanto, surgem questões como a responsabilidade pelos dados e como será assegurada a propriedade intelectual do projeto.

²⁴ Processos que envolvem alguma automação, mas também requerem intervenção manual em determinadas etapas.

²⁵ O IFC é um modelo de dados padronizado que codifica, de forma lógica, a identidade e a semântica (nome, identificador único legível por máquina, tipo ou função do objeto); as características ou atributos (como material, cor, propriedades térmicas); os relacionamentos (locais, conexões e propriedade); os objetos (como colunas ou lajes); conceitos abstratos (desempenho, custeio); os processos (instalação, operações); pessoas (proprietários, designers, empreiteiros, fornecedores) e o que mais ocorrer que seja necessário para identificação dos elementos do modelo (BuildingSMART International, 2021).

O sexto desafio aborda a inovação tecnológica, pois os protótipos desenvolvidos como testes, geralmente trabalham uma pequena área, e quando são colocados em prática se deparam com grandes áreas do mundo real. Nem sempre soluções que funcionam bem em pequenas áreas atendem a grandes extensões (Stoter *et al.*, 2020).

2.2.7 Padrão CityGML

City Geography Markup Language (CityGML) é um modelo de dados aberto e formato baseado em *eXtensible Markup Language* (XML) para o armazenamento, representação e intercâmbio de modelos digitais 3D de cidades e paisagens urbanas. É um esquema de aplicação para o *Geography Markup Language*, um padrão internacional extensível para troca de dados espaciais emitido pelo OGC e pela ISO TC211²⁶ (Gröger *et al.*, 2012).

O CityGML tem sido desenvolvido desde 2002 pelos membros do Special Interest Group 3D, um grupo formado por mais de 70 empresas, municípios e instituições de pesquisa da Alemanha, Inglaterra, Suíça e Áustria que trabalham no desenvolvimento de modelos numéricos 3D de cidade (Gröger *et al.*, 2012).

Em 2008, a versão 1.0 do CityGML foi adotada pela OGC e foi difundida, com isso muitas cidades na Alemanha e outros países da Europa elaboraram os modelos numéricos 3D de cidade, a exemplo de Berlim, Colônia, Dresden e Munique. Geralmente os modelos são elaborados com diferentes níveis de detalhamento (LOD), (Kolbe; Burger; Cantzler, 2015).

Na França são fornecidos dados de Paris em LOD2²⁷ e do centro das cidades de Aix-en-Provence, Lille, Nantes e Marselha. Cidades na Europa como Mônaco, Genebra, Zurique, Leeuwarden utilizam o CityGML LOD2 e 3, e em partes no LOD4. Seguindo adiante com várias outras aplicações em modelos desenvolvidos em diversas cidades: Istambul (LOD1 e 2), Doha, Katar (LOD3), Yokohama (LOD2) etc.

²⁶ *International Organization for Standardization / Technical Committee 211.*

²⁷ Classificação utilizada em modelos 3D, como o CityGML, para descrever o nível de detalhamento geométrico e semântico de um objeto ou elemento. No contexto do CityGML, o LOD2 representa um nível intermediário de detalhamento, com os objetos 3D possuindo geometria mais complexa e informações semânticas mais detalhadas em comparação com níveis de detalhe inferiores.

Este padrão representa quatro aspectos dos modelos numéricos 3D de cidade: semântica, geometria, topologia e aparência. Os objetos podem ser representados por níveis diferentes de detalhes no que diz respeito à geometria e à semântica.

Para a maioria das aplicações de modelos numéricos 3D de cidade, não são apenas os aspectos geométricos e gráficos relevantes, mas também a semântica dos objetos. Por exemplo, no caso de estudo da propagação de ruídos, é importante que a função do edifício seja especificada, pois residências, escolas e hospitais precisam ter uma atenção especial (Gröger; Plümer, 2012, p. 12, tradução nossa).

Da mesma forma, as características de objetos relevantes, como paredes, telhados, portas, janelas, dormitórios, assim como seu entorno (objetos de transporte, corpos d'água, vegetação, terreno e mobiliário urbano), variam de acordo com a aplicação.

A versão 2.0 do CityGML define tipos adicionais de recursos, incluindo módulos temáticos para túneis e pontes. O padrão CityGML pode ser representado em diferentes escalas ou níveis de detalhamento (LOD), permitindo que o conjunto de dados inclua diversas entidades urbanas que suportam variados tipos de modelagem, não apenas de edificações individuais, mas também de locais inteiros, distritos, cidades, regiões e até países. Essa flexibilidade é fundamental para aplicações em planejamento urbano, simulação e análise espacial (GIM International, 2012).

O padrão CityGML permite o compartilhamento de modelos digitais de cidades e paisagens em 3D para análises sofisticadas e exibições em diversos domínios de aplicativos, como simulações ambientais, estimativas de demanda de energia, gerenciamento do ciclo de vida da cidade e instalações urbanas, avaliação de imóveis, controle de desastres, navegação de pedestres, robótica, mineração de dados urbanos e marketing baseado em localização. Como é baseado no padrão OGC *Geography Markup Language Encoding Standard* (GML), pode ser usado em toda a gama de serviços da OGC, para acesso, processamento e catalogação de dados (GIM International, 2012, *online*).

O CityGML fornece definições e especificações de dados comuns para diferentes objetos temáticos, como o Modelo Digital de Terreno (MDT), edifícios, pontes, túneis, estradas, vias férreas, corpos d'água, vegetação, mobiliário urbano etc. [...] Em contraste com outros formatos de intercâmbio, como *shapefiles*, DXF, tabelas Excel ou arquivos RDF, o CityGML não requer a divisão de dados sobre a cidade em múltiplos arquivos; ao contrário, mantém os dados organizados em uma única estrutura (Kolbe; Burger; Cantzler, 2015, p. 344, tradução nossa).

O CityGML 3.0 é uma evolução das versões anteriores 1.0 e 2.0 do CityGML. Segundo Kutzner, Chaturvedi e Kolbe (2020), a versão 3.0 do padrão internacional OGC CityGML apresenta variedades de novos recursos e revisões de módulos, procurando aumentar a usabilidade do CityGML. Alguns dos destaques incluem:

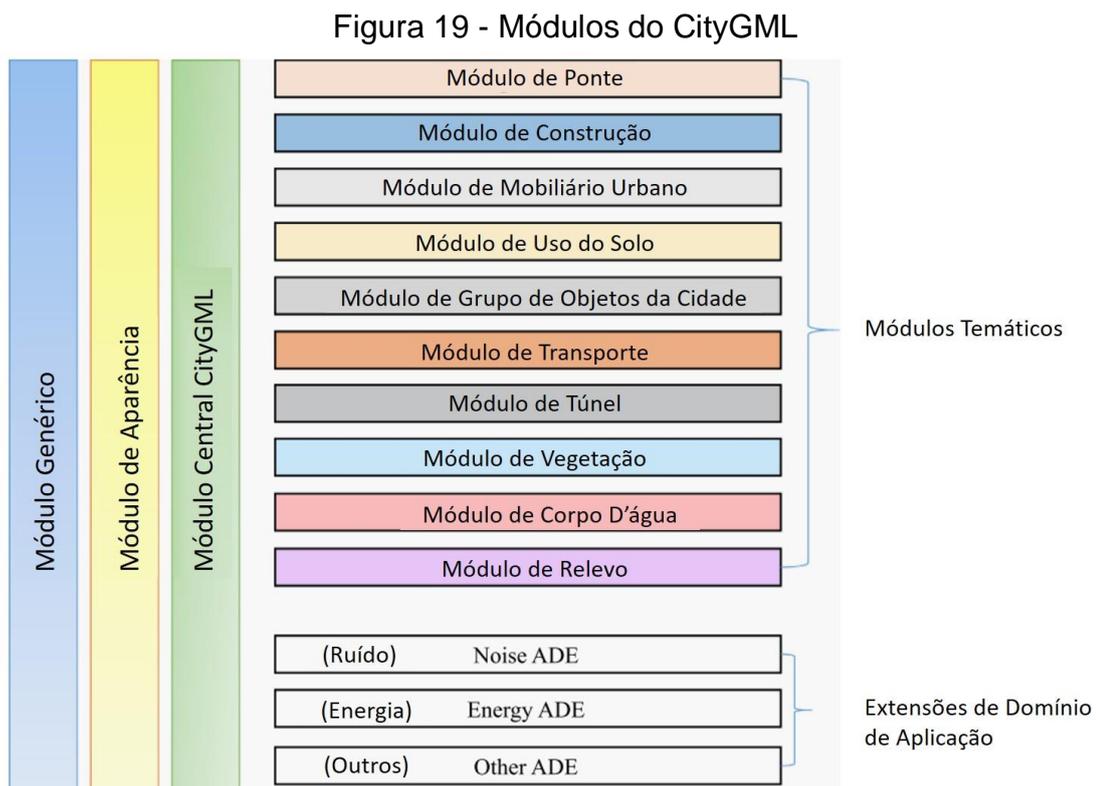
- Novos recursos:
 - Conceito de espaço: introdução de um novo conceito de espaço, permitindo uma representação mais abrangente e flexível das entidades geoespaciais;
 - Representação de propriedades dependentes do tempo (módulo Dynamizer²⁸): é possível modelar propriedades que variam ao longo do tempo, como mudanças sazonais ou flutuações diárias;
 - Gerenciamento de múltiplas versões de cidades: o CityGML 3.0 oferece suporte para manter várias versões de modelos de cidades, permitindo rastrear alterações ao longo do tempo;
 - Representação de objetos de cidade por nuvem de pontos: integração de dados de nuvem de pontos para representar objetos urbanos com maior detalhe.
- Revisões de conceitos existentes:
 - Nível de detalhe (LOD): o conceito de LOD foi revisado, aprimorando a representação de diferentes níveis de detalhe para objetos urbanos;
 - Propriedades de construções: a modelagem de construções foi aprimorada, incluindo detalhes arquitetônicos e estruturais;
 - Infraestrutura de tráfego: a representação da infraestrutura de tráfego foi refinada, permitindo uma modelagem mais precisa de elementos como ruas, estradas e redes de transporte;

²⁸ Os dinamizadores podem ser usados para acrescentar variações dinâmicas de propriedades dos objetos de cidade em uma representação estática (Kutzner; Chaturvedi; Kolbe, 2020).

- Separação clara do modelo conceitual e das codificações de dados: o CityGML 3.0 faz a distinção entre o modelo conceitual e as codificações específicas para diferentes formatos de dados.

A versão 3.0 permite que os dados sejam codificados em GML / XML e em JSON ou esquema de banco de dados. Segundo Heazel (2021), o padrão CityGML 3.0 apresenta melhoria na integração com o BIM, capacidade de representar espaços internos em diferentes níveis de detalhes.

O CityGML está equipado com 10 módulos temáticos centrais conforme a Figura 19. E ainda, recebe o complemento das *Extension of Application Domain* (ADE), permitindo tópicos extras, como as aplicações de energia, ruído, hidráulica, CAFM, BIM/IFC entre outros (Chalal *et al.*, 2016).

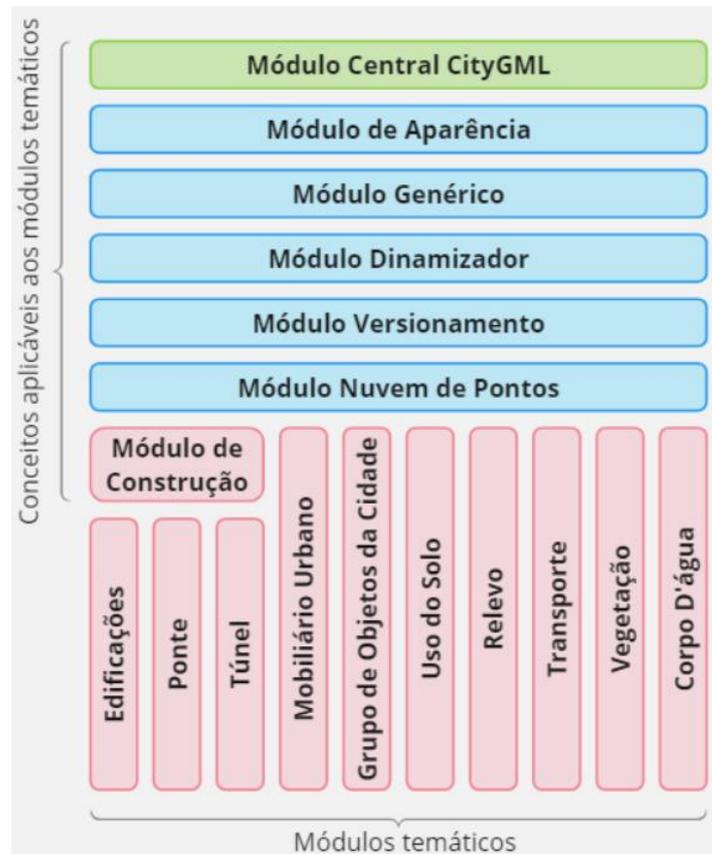


Fonte: Adaptado de Chalal *et al.* (2016).

Com a revisão do padrão CityGML para a versão 3.0, de acordo com Kutzner, Chaturvedi e Kolbe (2020), o Módulo Conceitual CityGML passou a ser representado por 17 módulos, conforme apresenta a Figura 20. Todos os módulos da versão 2.0 fazem parte do CityGML 3.0, com acréscimo dos módulos *Dynamizer*, *Versioning*,

PointCloud e *Construction*, e revisão dos módulos *Core*, *Generics*, *Building* e *Transportation*.

Figura 20 - Módulo Conceitual CityGML 3.0



Fonte: Adaptado de Kutzner, Chaturvedi e Kolbe (2020).

O padrão CityGML foi concebido inicialmente para fornecer um modelo genérico de informação geográfica independente da utilização, porém cada vez mais, aplicações e usos requerem informações que não estão disponíveis no modelo de dados CityGML. Como alternativa, são desenvolvidos dois métodos: armazenamento de informações específicas através de objetos e atributos genéricos e a utilização da extensão ADE. No primeiro método ocorreram desafios relacionados à interoperabilidade de dados, já na segunda opção foram desenvolvidos esquemas XML que não geraram impacto na interoperabilidade dos dados. Essa abordagem tem sido a escolha preferida pelos programadores envolvidos no desenvolvimento e implementação de aplicações como o CityGML 3.0. Esses especialistas são responsáveis por escolher as abordagens mais adequadas para lidar com os desafios de interoperabilidade e aprimorar o padrão (Shen *et al.*, 2020).

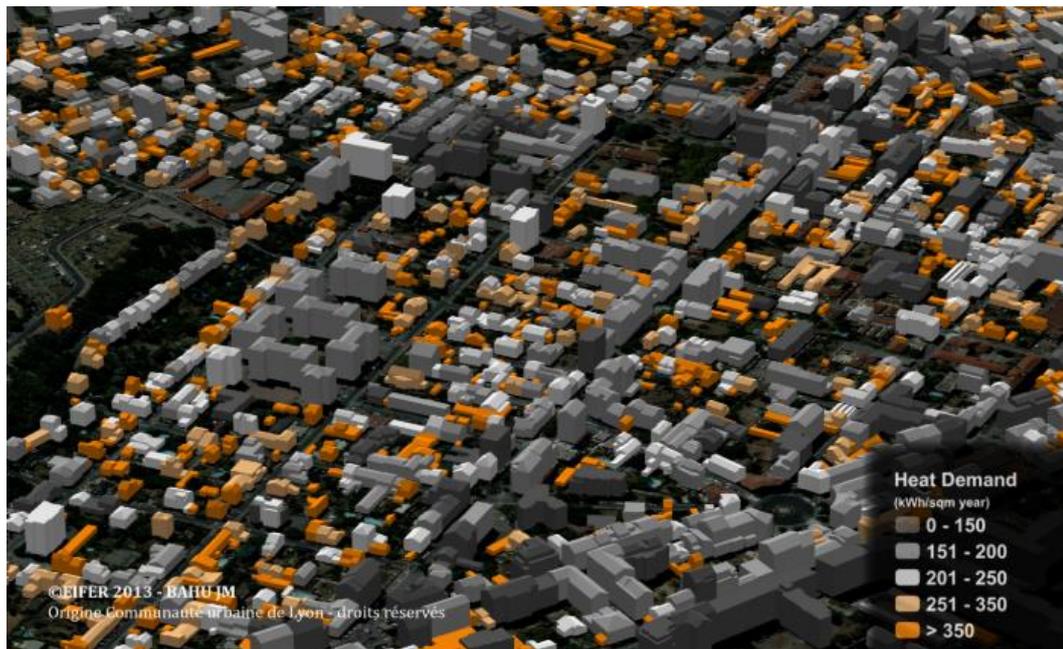
A extensão ADE introduz novas propriedades às classes CityGML existentes ou a definição de novos tipos de objetos (Chalal *et al.*, 2016), como por exemplo a extensão GeoBIM (Laat; Van Berlo, 2011), que acrescenta novas classes (como a escada) e novas propriedades IFC (como a largura e altura, incluindo janela, sala, edifício e porta).

O esquema ADE é derivado de um modelo UML com base em regras de transformação descritas em Brink, Stoter e Zlatanova (2013), que elabora diagramas UML das classes, mapeando-as automaticamente para o esquema GML, estendendo assim o CityGML para aplicações específicas. Em aplicações como, por exemplo, o *Energy ADE*, o objetivo é facilitar a integração de indicadores e índices de energia no padrão CityGML (Chalal *et al.*, 2016).

No CityGML as edificações possuem atributos como: classe, endereço, uso, função, tipo de telhado, altura do edifício, número de andares, ano de construção, ano de demolição e número de referência. Para aplicações de energia, os edifícios devem estar representados como geometria sólida, para facilitar o cálculo de volumes (Kolbe; Gröger; Plümer, 2005).

Ainda sobre a demanda de energia conforme a Figura 21, foi realizada a aplicação em modelos numéricos 3D de cidade combinando dados de volume de edifícios, número de pavimentos, tipo de edifício e outras características para prever a demanda por aquecimento e/ou arrefecimento. Estas aplicações utilizam o modelo numérico 3D de cidade para avaliação térmica e perda de calor do envelope do edifício (Biljecki *et al.*, 2015). Já Tabrizi e Sanguinetti (2014 *apud* Biljecki *et al.* 2015) acrescentaram informações de materiais, dados meteorológicos e fonte de energias renováveis.

Figura 21 - Resultado da estimativa de demanda de aquecimento das edificações

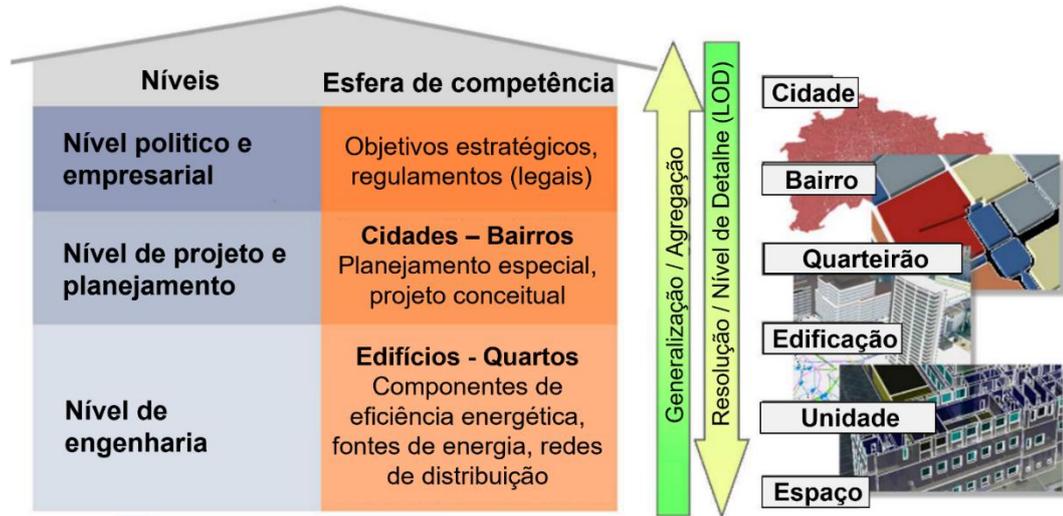


Fonte: Bahu *et al.* (2013).

Outro exemplo é a simulação de iluminação de pontos de referência nos modelos numéricos 3D de cidade, em que diferentes cenários de iluminação pública são avaliados sem uma implementação física ou até mesmo uma visita ao local de estudo, reduzindo assim os custos preliminares (Biljecki *et al.*, 2015).

Krüger e Kolbe (2012) apresentam o “Atlas de energia de Berlim”, desenvolvido a partir do modelo da cidade de Berlim, elaborado no padrão CityGML, utilizando indicadores-chave relacionados à energia de edifícios e bairros, com o objetivo de desenvolver uma estrutura de modelagem para avaliação de energia em relação aos diversos aspectos do sistema de energia urbana. São utilizados indicadores e índices para calcular a estimativa de consumo de energia de aquecimento da edificação e a escala de consumo do bairro (Figura 22). Estes dados são incorporados ao padrão CityGML com uma extensão ADE para avaliação de energia.

Figura 22 - Atlas de energia - níveis de tomadas de decisão

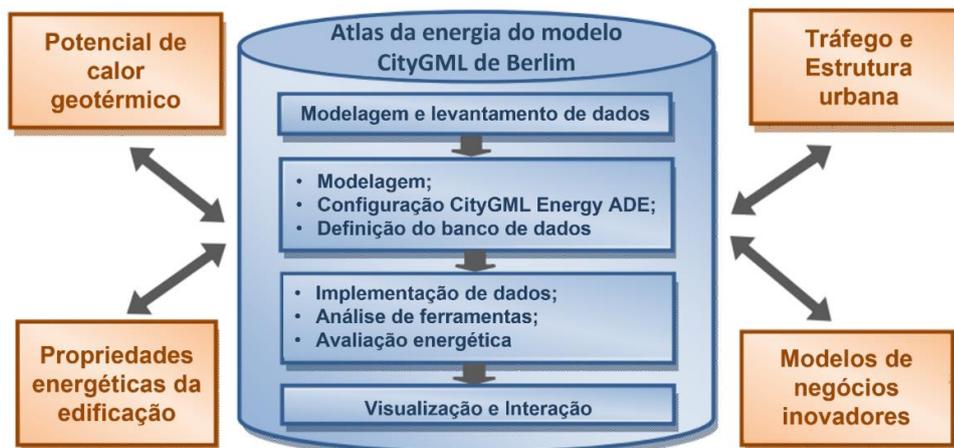


Fonte: Adaptado de Krüger e Kolbe (2012).

A proposta do “Atlas de Energia de Berlim” é facilitar a integração espacial, visualização e análise de energia, requisitos energéticos e consumo, fluxos de energia e distribuição, fontes de energia e produção, com um olhar na redução de emissões de gases de efeito estufa.

Segundo os autores, o modelo de Berlim é estruturado de acordo com o padrão CityGML e oferece geometria, topologia, semântica e aparência de forma integrada. A Figura 23 apresenta uma estrutura inicial do projeto Atlas com o banco de dados central que armazena os objetos e propriedades relacionadas a energia junto com as informações semânticas.

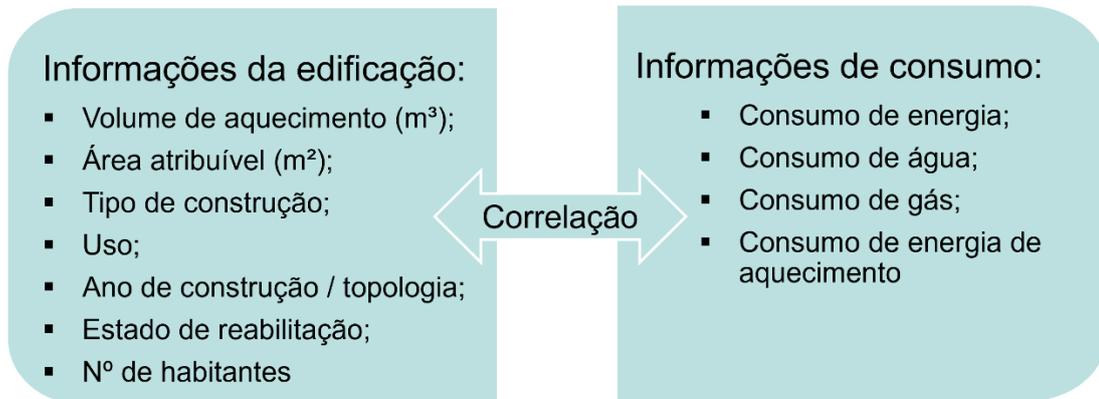
Figura 23 - Projeto Atlas de Energia de Berlim: núcleo e campos de atuação



Fonte: Adaptado de Krüger e Kolbe (2012).

Os autores fazem uma correlação entre as informações da edificação e os valores de consumo de energia identificados na Figura 24.

Figura 24 - Correlação entre a edificação e as características e valores de consumo



Fonte: Adaptado de Krüger e Kolbe (2012).

Para o cálculo da estimativa de consumo de energia de aquecimento da edificação é necessário considerar o número de andares, altura interna do ambiente, altura do edifício, volume de aquecimento, ano de construção, número de unidades de acomodação, função da edificação / uso.

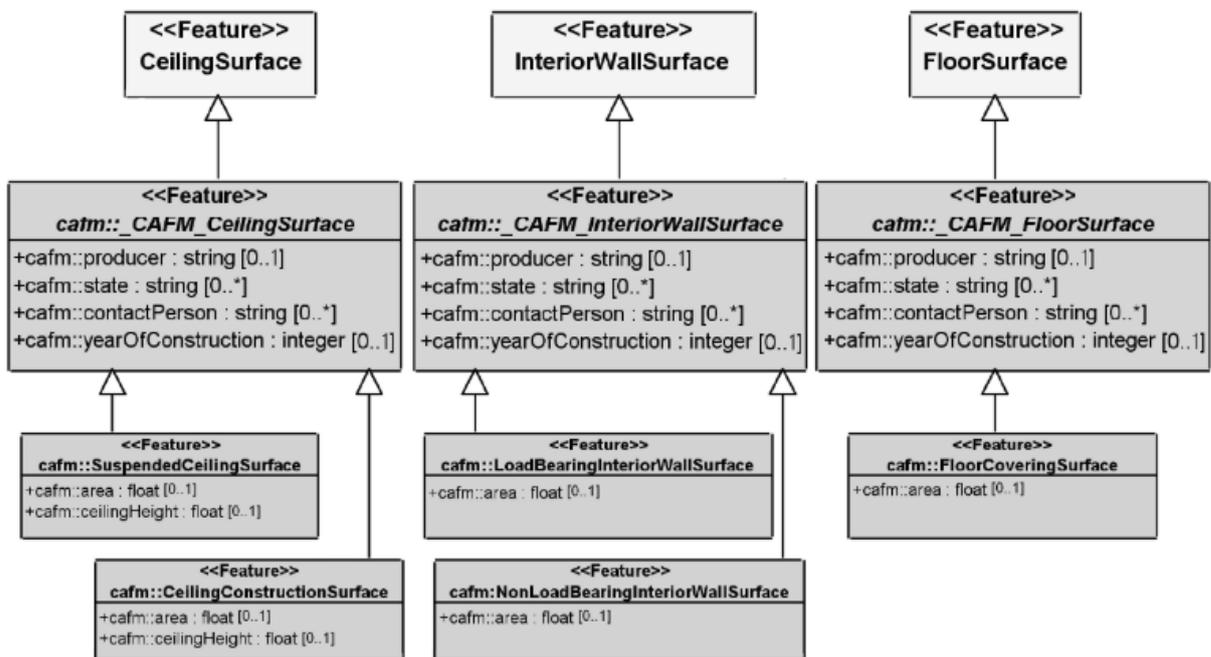
Os parâmetros são categorizados em *Elementares Indicators* (EI) e *Complex Indicators* (CI), proporcionando uma análise abrangente da situação energética local em modelos numéricos 3D de cidades. Os indicadores elementares envolvem métricas mais simples, enquanto os complexos englobam métricas mais abrangentes, permitindo uma representação precisa das condições energéticas urbanas no contexto do CityGML. Essa distinção é crucial para a compreensão e utilização eficaz dos dados energéticos, contribuindo para ambientes urbanos mais sustentáveis.

Desde 2001, modelos numéricos 3D da cidade de Munique vêm sendo desenvolvidos utilizando o padrão CityGML com uma extensão para a gestão de instalações. No início, o foco era o planejamento urbano, e desta forma, foram realizados trabalhos com o meio ambiente como, por exemplo, a propagação do ruído e análises do potencial solar (Bleifuß *et al.*, 2009). Em 2005, foi lançada a primeira aplicação comercial de 'mapas 3D', que disponibilizou dados aos moradores e visitantes, atualmente conhecidos pelos serviços do Google Earth ou Microsoft Virtual Earth. O foco do trabalho foi o armazenamento e entrega de dados (Kranz *et al.*, 2005).

BuildingFurniture é a classe para modelagem de objetos móveis, por exemplo: mobiliário de escritório. E a classe *IntBuildingInstallation* é utilizada como uma superclasse para objetos de instalações fixas, por exemplo: aquecedores, sistemas de ar-condicionado etc. Tem também o *AbstractBuilding*, que podem ser: tubos, cabos etc. (Bleifuß *et al.*, 2009).

Outras classes podem ser derivadas de classes pré-existentes, como por exemplo: *CeilingSurface*, *InteriorWallSurface* e *FloorSurface*. Podem também ser acrescentadas de atributos específicos de FM, tais como: fabricante, condição do imóvel, fornecedores e o ano de construção, passando a ser classes de CAFM, como por exemplo: *cafmm::_CAFM_CeilingSurface*, *cafmm::_CAFM_InteriorWallSurface* e *cafmm::_CAFM_FloorSurface*. A Figura 25 mostra uma seção do modelo UML da extensão CityGML utilizada para a gestão de instalações.

Figura 25 - Seção do modelo UML da extensão da CityGML para gestão de instalações



Fonte: Gröger *et al.* (2008) *apud* Bleifuß *et al.* (2009).

O padrão CityGML é adequado para a representação da gestão de facilidades devido à sua capacidade semântica, desde que os modelos CityGML sejam acrescentados das classes e atributos específicos da área de FM, conforme a proposta para criar um modelo de dados para a gestão de instalações da cidade de Munique (Bleifuß *et al.*, 2009).

2.2.8 Ferramentas que apoiam o CityGML

Existem várias ferramentas que podem ser utilizadas para apoiar as diversas etapas de desenvolvimento de um modelo semântico 3D de cidade. Essas ferramentas são empregadas para análise, teste e correção de erros de sintaxe, geometria e semântica dos modelos em CityGML como, por exemplo: FreeCAD; MeshLab; CityDoctor²⁹; BuildingReconstruction; GeomagicWrap; Space Claim; e NetFaab (Simonelli, 2022).

Dentre as ferramentas que dão suporte ao CityGML, estão os softwares comerciais ou acadêmicos³⁰: CityEditor; 3Dmap; Bentley Map; BS Contact Geo; CityGRID; CityServer3D; CodeSynthesis XSD; CPA Geo-Information / CPA Geo-Information SupportGIS 3D; FME; Galdos Inscape CityGML Server; Galdos Indicio CityGML Registry; Galdos CityGML Inspector; GO Publisher WFS; NovaFACTORY; PlexMap³¹; Tridicon CityDiscoverer; VC Suite.

Além das ferramentas comerciais, existem também uma série de ferramentas e serviços gratuitos fornecendo interfaces de visualização e edição que apoiam o padrão CityGML³², por exemplo: Tridicon(R) CityDiscoverer light; eveBIM; GEORES for Sketchup; FZKViewer; Liquid XML Editor; BIMServer; GML Viewer; TerrainView; 3D City Database; QS-City 3D³³; Aristoteles e citygml4j.

Algumas dessas ferramentas serão mais detalhadas a seguir:

O 3DCityDB é uma extensão para *Database Management System* (DBMS) de código aberto utilizado para armazenar, representar e gerenciar modelos geométricos e semânticos de cidade em escalas variadas, compatíveis com o padrão CityGML. O conteúdo armazenado no banco de dados pode ser exportado nos formatos KML, COLLADA e gITF para serem visualizados em alguns aplicativos SIG e *Digital Globe*

²⁹ CityDoctor. Disponível em: <https://transfer.hft-stuttgart.de/pages/citydoctor/citydoctorhomepage/en/>. Acesso em: 21 mar. 2024.

³⁰ Disponível em: https://www.citygmlwiki.org/index.php?title=Commercial_Software. Acesso em: 11 fev. 2024.

³¹ PLEXMAP - Disponível em: www.geoplex.de. Acesso em: 3 out. 2022.

³² Disponível em: <https://www.citygmlwiki.org/index.php?title=Freeware>. Acesso em: 11 fev. 2024.

³³ Disponível em: <https://www.uni-koblenz-landau.de/de/koblenz/fb4/uebergreifend/er/stormodelling/tools/qscity>. Acesso em: 5 out. 2022.

como o ArcGIS, CesiumJS, Google Earth, ou iTowns (3DCityDB, 2022). Também podem ser transmitidos em visualizações *web* baseadas em Cesium, como o 3DCityDBWeb-Map Client (Yao *et al.*, 2018).

O Feature Manipulation Engine (FME) é uma plataforma comercial, da Safe Software Inc., utilizada para integração de dados e aplicativos, transformação e validação de dados de diferentes formatos de arquivos, tais como: BIM, CAD, SIG, *Markup Languages* etc. É composto pelo FME Workbench, que possibilita os fluxos de trabalho de conversão, e o FME Data Inspector, para visualização dos resultados. Esses resultados podem ser armazenados na nuvem FME (FME, 2022).

O FZKViewer é um software de visualização de modelos geométricos e semânticos no padrão CityGML e, a partir da versão 0.4.0 passou a incluir as extensões ADE, os formatos IFC, gbXML, LandXML, CIM (IEC) (KIT, 2022).

O CityDoctor é um software para inspeção de qualidade para dados no formato CityGML. Ele pode ser útil para garantir a precisão e integridade dos modelos geométricos e semânticos em uma variedade de casos de uso (CityDoctor, 2024). Por exemplo, em um cenário de planejamento urbano, o software pode ajudar a verificar se as representações 3D das edificações e infraestruturas correspondem à realidade. Em um contexto de simulação de desastres naturais, o CityDoctor pode ser empregado para assegurar que os dados geoespaciais estão corretamente modelados, contribuindo assim para uma simulação mais precisa.

O Val3dity é um software gratuito para validação de primitivos³⁴ em 3D no formato GML, de acordo à norma internacional ISO19107. Aceita alguns formatos para validação, por exemplo: CityJson (e variações deste formato), OBJ, OFF e IndoorGML.

O Quadro 3 apresenta a compilação de algumas plataformas e ferramentas que apoiam o CityGML.

³⁴ Primitivos são elementos geométricos básicos, como pontos, linhas, polígonos e sólidos. Esses elementos formam a estrutura fundamental dos objetos tridimensionais em softwares de modelagem e são essenciais para a criação e manipulação de formas complexas (ISO 19107, 2019).

Quadro 3 - Ferramentas que apoiam a produção/uso de modelos em CityGML

Software	Gratuito	Visualização	Edição	Integração de dados (programação)	Validação	Armazenamento
3DCityDB	x	x		x		x
NovaFactory		x		x	x	x
PlexMap		x	x			x
Virtual CitySystems		x	x	x	x	x
3DIS GmbH ³⁵		x	x	x		x
Geores SketchUp CityGML Plugin	x		x			
OpenCities Planner		x	x			
FME		x	x	x	x	
3dfier	x		x	x		
Tridicon CityDiscoverer Light	x	x				
SuperMap		x	x	x		x
BIMServer	x	x				
Azul	x	x				
FZKViewer	x	x				
QS-City 3D	x	x			x	
CityDoctor	x				x	
Val3dity	x				x	

Fonte: Elaborado pela autora.

No processo de elaboração do modelo geométrico e semântico de cidade, geralmente são utilizados alguns softwares para cumprir as diferentes etapas de desenvolvimento, desde a importação ou exportação em formatos variados, elaboração ou edição do modelo (geometria e semântica), integração de dados utilizando recursos de programação, armazenamento, validação e a visualização ou publicação na *web*.

A utilização do padrão CityGML não é um processo simples, geralmente são utilizadas ferramentas variadas em etapas distintas do desenvolvimento do modelo geométrico e semântico da cidade e existem normas para apoiar este processo, dentre elas destaca-se a ISO 19107:2019³⁶ que trata de *Geographic information - Spatial Schema*,

³⁵ Disponível em: www.3dis.de/cityeditor-citygml2cad/. Acesso em: 29 set. 2022.

³⁶ Disponível em: <https://www.iso.org/obp/ui/en/#iso:std:iso:19107:ed-2:v1:en>. Acesso em: 11 fev. 2024.

ou seja, fornece uma estrutura de informação para a representação de objetos espaciais e suas propriedades. É utilizada para padronizar a representação de dados geoespaciais, o que é fundamental para garantir a interoperabilidade e a consistência das informações em sistemas de informação geográfica.

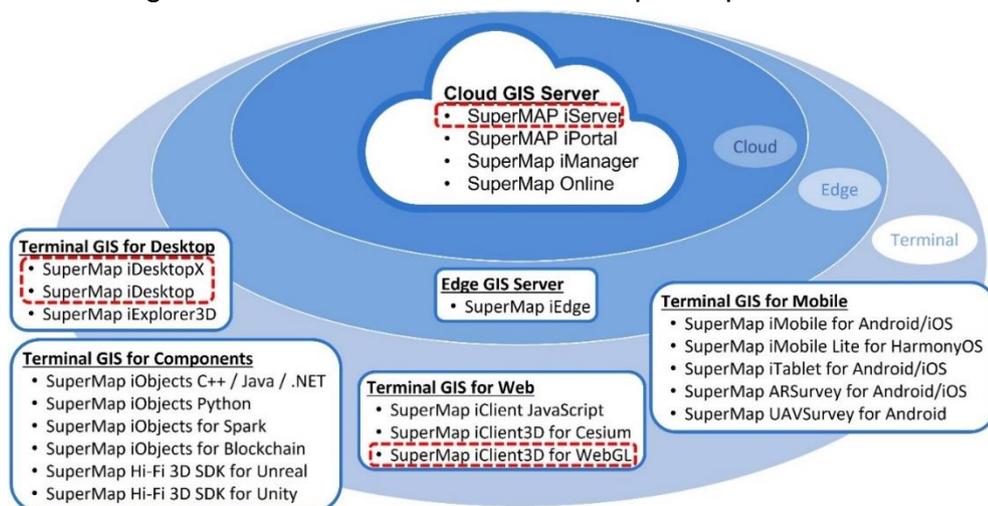
Na seção 2.2.8.1 será apresentada a estrutura do software Supermap, os produtos disponíveis e suas características.

2.2.8.1 SuperMap

A SuperMap Software Co. Ltd. é a empresa desenvolvedora do software SuperMap, baseado na tecnologia SIG. Fornece soluções para a área de cidades inteligentes; gestão de propriedades, serviços públicos; gestão de instalações; gestão de transportes; gestão de recursos naturais; segurança pública; gestão de desastres naturais e integração das tecnologias BIM+SIG para aplicações no meio urbano (SuperMap, 2022a).

O software SuperMap é composto pelos módulos Desktop GIS, Service GIS, Componente GIS, Mobile GIS para produção, processamento e gestão de dados espaciais (Figura 26). A empresa está localizada na República da China e a Geoespaço é a sua representante no Brasil.

Figura 26 - Produtos do software SuperMap GIS 2022



Fonte: Adaptado de SuperMap³⁷ (2022b).

³⁷ Disponível em: Architecture of SuperMap GIS 10i - SuperMap GIS Software. Acesso em: 15 jun. 2023.

O Quadro 4 discorre sobre características dos produtos do software SuperMap.

Quadro 4 - Características dos produtos do SuperMap

Produto	Descrição
 Servidor SIG na Nuvem	Publicação, gerenciamento e análise de dados espaciais 2D, 3D e serviços GIS, ex: mapas, dados, <i>machine learning</i> , dados de <i>streaming</i> com acesso em tempo real etc. 3D – publicação, edição e análise de dados.
 Servidor SIG Edge (borda)	Funciona entre a nuvem e os terminais de aplicação do GIS (<i>cloud-edge-terminal</i>). Implantada perto do cliente ou ao lado da fonte de dados.
 Terminal SIG SDK para componentes	Gestão de dados (banco de dados espacial, formatos variados para importação e exportação etc.); processamento de dados: mapeamento; análise geoespacial; análise estatística geoespacial; fluxo de trabalho de AI GIS; <i>machine learning</i> etc.
 Terminal SIG (Desktop)	Desenvolvimento e gerenciamento de dados integrados 2D e 3D, edição, mapeamento, análise, plotagem 2D e 3D etc.; gestão de dados; processamento de dados; análise geoespacial; análise estatística geoespacial; mapeamento; colaboração em nuvem (acesso a serviços de WMS, WFS, WMTS e SuperMap REST); <i>layout</i> do mapa; 3D (exporta formatos de dados OBJ, FBX, KML+S3MB e KML+FBX).
 Terminal SIG SDK para WEB	Desenvolvimento de componentes; visualização de BIG Data ³⁸ ; biblioteca de gráficos (coordenadas WGS84, CGCS2000 e sistemas de coordenadas locais).
 Terminal SIG (Mobile)	SuperMap iMobile para Android e iOS (mapa AR; métodos de precisão de posicionamento ao ar livre; mapa de navegação; exibição do mapa etc.).
 Plataforma SIG na web	Este módulo oferece funcionalidades para gerenciamento e análise de dados geoespaciais, tais como: Mapas interativos (visualização em tempo real, com múltiplas camadas de dados); Análise geoespacial (geocodificação, análise de proximidade etc.); Gestão de Dados (importação e exportação de dados geográficos); Customização (interface personalizável); Integração com outros sistemas e Acesso remoto que pode facilitar o trabalho colaborativo.

Fonte: Disponível em: https://www.supermap.com/en-us/list/?207_1.html. Acesso em: 20 abr. 2022.

Segundo Boonlua (2021), a tecnologia SuperMap é utilizada como um sistema de integração de dados da cidade, contribuindo com soluções para as cidades inteligentes. Conforme Tsheboagae (2021), o SuperMap oferece suporte a aplicações em gestão de utilidades, pois trabalha com dados espaciais, desde a gestão de armazenamento de dados até a análise espacial e transmissão em tempo real. Já Sappayasan (2021) comenta sobre a utilização da plataforma SuperMap 3D como sistema de gestão de modelos de informações da cidade, utilizados para visualização,

³⁸ Conjunto de dados extremamente grandes e complexos.

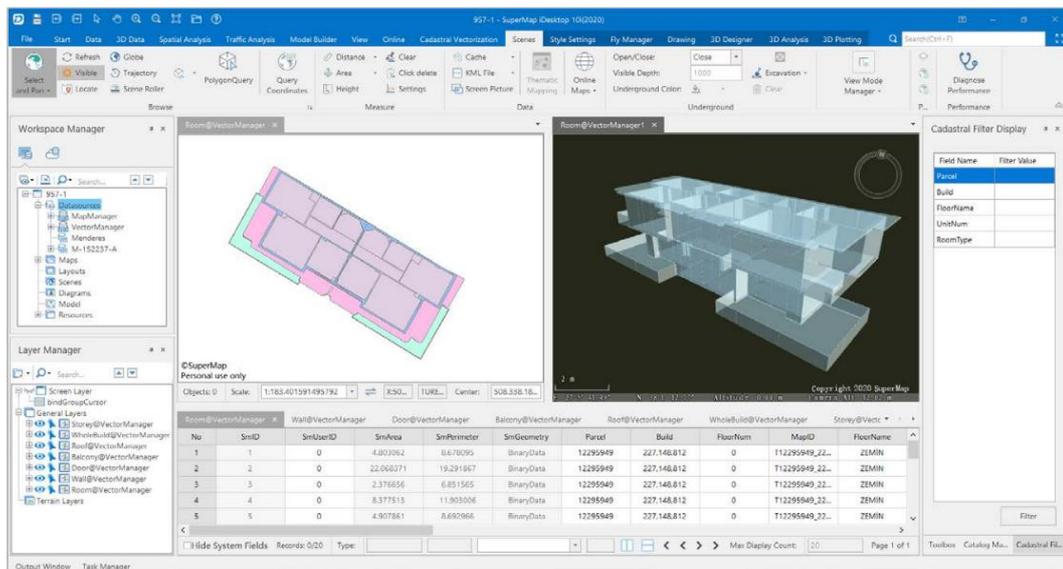
gestão, apoio ao planejamento da cidade e tomada de decisões, visando o desenvolvimento sustentável.

Alkan e Sürmeneli (2020) descrevem as adaptações feitas no sistema cadastral turco, nas quais a terminologia bidimensional no cadastro está sendo modificada para incluir o contexto tridimensional, alinhando-se aos conceitos do sistema de cadastro da Turquia e às normas internacionais, como a *Land Administration Domain Model* (LADM), que busca estabelecer uma ontologia comum para direitos, responsabilidades e restrições relacionadas à administração do solo e seus componentes geométricos, juntamente com os padrões INSPIRE e OGC. O estudo visa estabelecer um padrão para um modelo de dados cadastrais 3D na Turquia, seguindo padrões e normas internacionais.

Conforme o estudo de caso realizado durante a elaboração de uma base de dados cadastrais em 3D na Turquia, apresentado em Sun³⁹ (2021), percebeu-se que o software SuperMap otimizou e reduziu a carga de trabalho associada ao processamento manual de dados, economizando tempo e recursos financeiros. O modelo geométrico e semântico foi convertido para o padrão CityGML, com o objetivo de apresentar hierarquicamente a estrutura dos edifícios e as informações específicas de cada edificação, visando aprimorar a gestão cadastral. Na sua elaboração (Figura 27), foram considerados dados detalhados das paredes internas e externas, salas, varandas, pisos, portas, entre outros elementos (Sun, 2021).

³⁹ Este artigo foi publicado na revista: Supermap Communications, n. 1, p: 22-29, jun. 2021. No entanto, o nome da autora, Evelyn Sun, aparece no mesmo artigo publicado no LinkedIn da mesma.

Figura 27 – Visualização 2D e 3D



Fonte: Sun (2021).

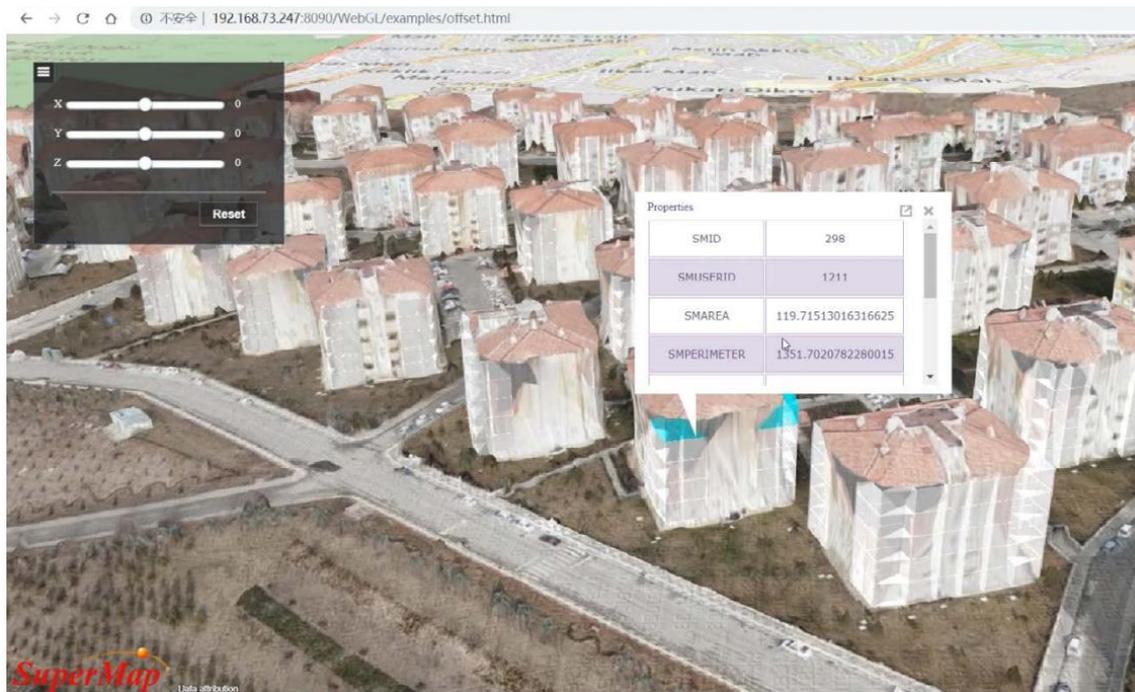
O processo de conversão de dados foi auxiliado pelo *plugin* MyFME, instalado no SuperMap. Esse *plugin* teve como principal função a conversão direta do conjunto de dados da base cadastral em 3D na Turquia para o formato CityGML de maneira simplificada e direta (Sun, 2021).

A partir de informações em tempo real, é possível entender que o padrão de dados cadastrais em 3D turco se destacou em:

- Otimização do processo de vetorização e modelagem dos dados cadastrais em 3D, procurando inovar a forma de conversão de dados;
- Melhoria da gestão cadastral, pois o acesso aos dados cadastrais em 3D permitiu uma gestão mais refinada e eficiente.

O padrão de dados em 3D pode vir a contribuir para o desenvolvimento de novas aplicações, aproveitando os dados semânticos, como destacado na Figura 28, que exhibe a área e o perímetro de um pavimento específico da edificação selecionada em azul (Sun, 2021).

Figura 28 – Efeito da sobreposição de edificações em 3D em fotografia oblíqua



Fonte: Sun (2021).

As edificações são sobrepostas a uma fotografia oblíqua, onde são inseridas informações semânticas sobre os apartamentos. Esse recurso visa reduzir os custos de mão de obra e otimizar a utilização dos recursos disponíveis.

2.2.9 Interoperabilidade quanto ao padrão CityGML

Conforme é disposto no BIM Dictionary (2021), o termo interoperabilidade representa a habilidade de diversos sistemas e organizações de trabalhar em conjunto sem perda de dados sem um esforço especial. A interoperabilidade pode se referir a sistemas, processos, formatos de arquivos etc.

O CityGML é um padrão aberto para a representação de dados geográficos e de construção que utiliza a estrutura de dados do *Industry Foundation Classes* (IFC), que é uma descrição digital padronizada do ambiente construído, incluindo edifícios e infraestrutura civil. É um padrão aberto internacional, não proprietário, que promove recursos neutros normalmente usados na indústria AEC/FM para descrever, trocar e compartilhar informações (ISO 16739-1, 2018).

A futura utilização do modelo é o fator orientador para determinar quais informações são necessárias. Por exemplo, se o modelo será utilizado para operação e

manutenção, é essencial descrever como a edificação foi construída e detalhar os procedimentos associados.

A interoperabilidade constitui uma questão-chave para a utilização de ferramentas de modelagem digital. O processo de integração entre IFC e CityGML envolve filtragem semântica, implantação das edificações, refinamentos geométricos e semânticos (Shahrour; Alileche; Al Furjani, 2017).

Ao contrário do padrão CityGML, o padrão IFC não é definido como um esquema UML ou XML. O modelo é especificado usando a linguagem de modelagem de dados EXPRESS, que pertence ao padrão ISO 10303: STEP – Standard para troca de dados do modelo de produto (Borrmann *et al.*, 2015).

Segundo os autores, o principal objetivo do modelo IFC é apoiar a troca de dados entre diferentes aplicações de projeto de edificações, em particular a integração de várias ferramentas de simulação e análise. Por esta razão, grande parte do padrão IFC se dedica a extensas capacidades de representação de geometria, incluindo diferentes versões de Representação de Fronteira (B-Rep), *Constructive Solid Geometry* (CSG), bem como descrições de geometria baseada em extrusão e varredura.

O método de representação geométrica B-Rep é mais antigo e foi em grande parte substituído por métodos mais modernos, como o *Non-Uniform Rational B-Splines* (NURBS), especialmente em aplicações com geometrias mais complexas. A escolha entre os métodos de representação geométrica depende das necessidades específicas do projeto e das ferramentas de modelagem disponíveis.

2.3 FACILITY MANAGEMENT (FM) NA INFRAESTRUTURA URBANA

O *Facility Management* é uma atividade que contribui para proporcionar ambientes de trabalho mais seguros, saudáveis, eficientes e econômicos para os usuários. Para alcançar esta finalidade, requer a capacidade de monitorar a estrutura física, instalações, serviços, processos ou ativos com precisão, identificar operações ineficientes na edificação e responder rapidamente às solicitações dos clientes e usuários.

Cada componente do ativo (sistema) deve ser cuidadosamente inventariado e ter um custo associado à sua instalação, operação, substituição ou manutenção programada. A eficácia das atividades do gestor de *facilities* está diretamente ligada à precisão e acessibilidade dos dados gerados nas fases de projeto e construção da edificação, bem como à sua continuidade durante as etapas de operação e manutenção. A ausência dessas informações pode resultar em custos excessivos e ineficiência na operação da edificação (GSA, 2011).

O *Facility Management* (FM) envolve uma gama de serviços e processos que, segundo a norma NBR ISO/TR 41013 (ABNT, 2019), são utilizados de diversas maneiras. Pode variar desde um modelo de processo estratégico de negócios que integra serviços de suporte, até o nome da unidade ou entidade em uma organização que gerencia esses serviços.

Conforme a norma NBR ISO/TR 41013 (ABNT, 2019), existem diversos fatores que envolvem redução de custos e agilidade na tomada de decisões operacionais. Todos os setores e organizações dependem de que o local de trabalho seja adequado com relação aos custos, a fim de serem economicamente bem-sucedidos. O FM e os valores relacionados às suas atividades, em qualquer nível ou escala, contribuem para a redução de riscos e, em consequência, a viabilidade da atividade fim da organização, atendendo às necessidades operacionais, proporcionando um local seguro, eficiente e produtivo para funcionários e visitantes.

O FM constitui um campo interdisciplinar que se ocupa da alocação de espaços, gestão de infraestrutura, coordenação de pessoas e administração de organizações.

[...] integração e gestão de ativos, pessoas e processos em um ambiente organizacional, englobando muito mais aspectos do que a gestão do edifício. O profissional que procura estabelecer o elo entre as etapas do ciclo de vida da edificação é o *Facility Manager*, que munido de informações transferidas ao longo da projeção e construção, desempenha o papel de gerente de operação e manutenção (Teles, 2016, p. 45).

Conforme a NBR ISO 41011 (ABNT, 2019), *facilities management* (FM) é uma função organizacional que integra pessoas, propriedade e processo dentro do ambiente construído com o objetivo de melhorar a qualidade de vida das pessoas e a produtividade do negócio principal.

No passado, houve diferentes entendimentos do conceito de FM e suas capacidades evoluíram de diferentes maneiras em diversos países, assim como a qualidade do serviço prestado. As expectativas da organização demandante evoluíram do local para o nacional, e agora estão se tornando globais (ABNT ISO/TR 41013, 2019, p. 7).

A função que o *Facility Management* exerce não é algo novo, esta atividade está associada ao espaço, infraestrutura, serviços, processos, pessoas e mais recentemente ao uso de tecnologias de informação para assegurar a funcionalidade do ambiente construído. Sua função envolve a gestão e manutenção de um ambiente de trabalho ou instalação física, que pode incluir supervisão de limpeza, segurança, manutenção predial, gerenciamento de resíduos, controle de acesso, entre outros.

2.3.1 Tipos de serviços de FM

Segundo a norma NBR ISO/TR 41013 (ABNT, 2019), o FM abrange e integra um amplo escopo de processos, serviços, atividades e instalações que possibilitam locais de trabalho de custos adequados, seguros e saudáveis, e procuram assegurar a prestação de serviços de *facility*.

No Quadro 5 estão expostos os tipos de serviços de *facility* e os exemplos, em destaque, os serviços associados à infraestrutura, foco de estudo retratado.

Quadro 5 - Serviços de *facility*

Serviço de FM	Exemplo
Gestão de bens imóveis	Fábricas, escritórios, laboratórios, salas de aula, hospitais, lojas, armazéns, aeroportos, instalações militares, hotéis, museus, parques infantis, presídio, estradas internas, estacionamento, áreas verdes, parques.
Gestão de infraestrutura	Estradas, pontes, barragens, canais, diques, ferrovias e redes de infraestrutura urbana.
Gestão de equipamentos	Componentes estruturais, mobiliário e equipamentos no local de trabalho, tecnologia da informação e comunicação, iluminação, sanitários, aquecimento, ventilação e ar-condicionado, elevadores, segurança e vigilância, automação de edificações e gestão de informações, FM auxiliado por computador, frota de veículos, sistemas específicos do negócio principal.
Gestão de utilidades	Eletricidade, gás, óleo, energia solar, energia geotérmica, ar pressurizado, gases técnicos, tratamento de água e outros.
Gestão de serviços	Segurança do trabalho, segurança patrimonial, controle de acesso, gestão de frotas, recepção, impressão, manutenção de áreas verdes, gestão de eventos, gestão do restaurante, gestão de manutenção / limpeza etc.

Fonte: Adaptado da ABNT NBR ISO/TR 41013 (2019).

Ainda conforme a norma NBR ISO/TR 41013 (ABNT, 2019), *facility* é um conjunto de ativos em um ambiente construído, instalado ou estabelecido para atender às necessidades de uma entidade (ou seja, atender às necessidades das pessoas ou de uma organização).

Ampliando ainda mais suas aplicações, existe o termo *Urban Facility Management*, ou FM Urbano. Essa prática consiste em gerenciar e manter as instalações e infraestruturas urbanas no ambiente construído. O escopo abrange a gestão de espaços públicos, redes de transporte, sistemas de utilidade pública e outros ativos urbanos. Isso inclui atividades como gestão de resíduos, promoção da sustentabilidade ambiental e segurança. Essa abordagem integrada visa assegurar o funcionamento eficiente, seguro e sustentável das cidades, atendendo às necessidades dos cidadãos e das comunidades urbanas.

Os autores Salaj e Lindkvist (2020) procuram associar o FM Urbano aos sistemas inteligentes e sustentáveis na abordagem da cidade. A ideia principal do Urban FM é contribuir para a melhoria da qualidade do ambiente físico, criar oportunidades de emprego e envolver a comunidade na gestão de serviços no ambiente urbano.

2.3.2 Principais benefícios do FM

Os principais benefícios da implementação de FM nas organizações, segundo a norma NBR ISO/TR 41013 (ABNT, 2019) são:

- Conceito simples e gerenciável das responsabilidades internas e externas para os serviços, baseado em decisões estratégicas;
- Facilitar a comunicação entre a demanda e o que é suprido, a partir de acordos de FM;
- Alinhamento dos objetivos estratégicos – sinergia entre serviços diferentes;
- Redução dos conflitos entre prestadores de serviços internos e externos;
- Integração e coordenação dos serviços de suporte requeridos – qualidade e eficiência;
- Transparência dos níveis de serviços e custos – usuários finais, assegurando qualidade de atendimento aos requisitos;

- Sustentabilidade - análise do ciclo de vida das instalações e redução de riscos organizacionais;
- Meio para aumentar a reputação da organização.

Um aspecto importante sobre a sustentabilidade, quando está associada à construção de novas edificações, é a obtenção de custos otimizados ao longo do ciclo de vida que gira em torno do projeto e construção, e administração, manutenção e operação das edificações. Especificações equivocadas, informações suprimidas ou erradas, qualidade inadequada do material ou técnica de construção, podem levar a uma menor sustentabilidade e custos de manutenção e operação mais elevados.

2.3.3 Uso do FM na operação e manutenção de redes de infraestrutura

Quanto à operação e manutenção de redes de infraestrutura, a norma NBR ISO 41011 (ABNT, 2019) afirma que a infraestrutura está inserida no contexto do ambiente construído e compõe o sistema de instalações, equipamentos e serviços necessários para a operação de uma organização.

Segundo a NBR ISO/TR 41013 (ABNT, 2019), as atividades primárias de uma organização constituem suas competências distintivas e indispensáveis em sua cadeia de valor⁴⁰. Toda organização depende dos serviços de suporte que fornecem uma infraestrutura dentro da qual as atividades primárias podem ser alcançadas de maneira efetiva. A organização define a relação entre os processos de *facility* e as atividades primárias de acordo com as suas necessidades.

2.3.4 BIM / FM

O paradigma BIM vem transformando o setor da Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO) promovendo a criação de ambientes digitais que fomentam as trocas de informações e potencializam a digitalização dos processos (Eastman; Teicholz; Sacks, 2011).

⁴⁰ Cadeia de valor é o modelo de estruturação das atividades desenvolvidas pela empresa e são divididas entre atividades primárias (ex.: operações, logísticas interna e externa, vendas, marketing, pós-venda) e de suporte (ex.: aquisição, infraestrutura, gestão de RH). Disponível em: www.sunoo.com.br/artigos/cadeia-de-valor. Acesso em: 7 out. 2022.

O *Building Information Modeling* ou Modelagem da Informação da Construção, é um conjunto de tecnologias, processos e políticas que permitem a múltiplos interessados conceber, construir e operar uma instalação em colaboração no espaço virtual (BIM Dictionary, 2022a).

BIM significa a classificação e decomposição de modelos 3D de acordo com um modelo semântico de dados, onde cada classe tem um significado bem definido. Por esses meios, é criado um repositório de informações abrangente e centralizado que pode ser usado por todas as partes interessadas ao longo de todo ciclo de vida de um edifício. O BIM é focado (e adaptado) a modelos de edifícios e locais com um modelo de objeto muito detalhado, onde os locais são construídos a partir de componentes como paredes, lajes, escadas, canos, tomadas de energia etc. [...] (Kolbe; Donaubauer, 2021, p. 612, tradução nossa).

O BIM é a utilização de uma representação digital partilhada, de um bem construído, para facilitar os processos de concepção, construção e operação, de modo a formar uma base confiável para auxiliar nas tomadas de decisões (ISO 19650-1, 2018).

A indústria da construção é caracterizada pela colaboração de partes interessadas com profissões especializadas e diferentes interesses. No entanto, muitas empresas ainda trabalham com suas soluções internas de software proprietário ao planejar, projetar, construir e manter edifícios. Como resultado, os bancos de dados das partes envolvidas muitas vezes são incompatíveis e, portanto, dificultam o fluxo contínuo de informações. Na prática, isso muitas vezes provoca a troca de documentos analógicos, acompanhada de uma inevitável perda de informações. Isso leva a diferentes estados de informação do projeto entre as partes interessadas, aumentando a suscetibilidade a erros no decorrer do projeto. Digitalizar e padronizar a troca de informações durante o gerenciamento do projeto de construção é crucial para a viabilidade futura do setor e, por isso, requer a máxima atenção (Schönfelder *et al.*, 2023, p. 2, tradução nossa).

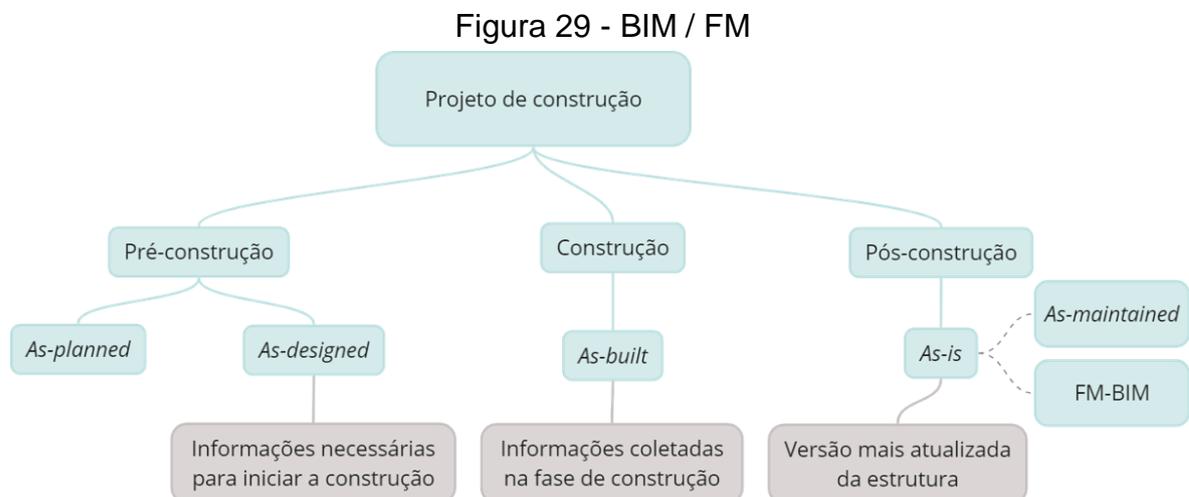
É importante destacar que a abordagem BIM possibilita a criação de um modelo geométrico e semântico abrangente do empreendimento, que pode ser empregado ao longo de todo o seu ciclo de vida, desde sua concepção até a demolição ou requalificação. Com o objetivo de estabelecer uma base de dados para suporte a tomada de decisões durante as fases de operação e manutenção, é crucial que o modelo seja constantemente atualizado com as informações necessárias para garantir um desempenho eficaz.

Desta forma o modelo pode ser considerado *as-built* ou *as-is*, o BIM pode ser utilizado para representar o estado real de uma edificação após a sua construção ou durante a sua operação e manutenção. Essa representação inclui informações detalhadas sobre os elementos do projeto, como paredes, pisos, portas, janelas, sistemas elétricos,

sistemas de climatização, entre outros. Além da geometria, o modelo pode conter propriedades físicas, características técnicas, custos, prazos, informações de manutenção e qualquer outra informação relevante para o ciclo de vida do empreendimento.

[...] o modelo é contínuo e consistentemente enriquecido com informações válidas. Embora essa compreensão leve a um espectro contínuo de estados do modelo, uma possibilidade de distinguir entre diferentes estados iniciais para o processo de modelagem é dividir o espectro em estágios discretos. Por exemplo, projetar os três marcos principais de um projeto de construção, nomeadamente pré-construção, construção e pós-construção, no espectro produz os equivalentes de estado do modelo digital *as-designed*, *as-built*, e *as-is*, respectivamente. Deve-se notar que há uma ampla gama de definições de estado de modelo mais refinadas, por exemplo, *as-planned*, *as-maintained*, FM-BIM (Schönfelder *et al.*, 2023, p. 3, tradução nossa).

Ou seja, o modelo *as-designed* contém todas as informações necessárias para iniciar a construção do edifício; o modelo *as-built* contém todas as informações coletadas sobre o edifício durante a fase de construção e o modelo *as-is* é sempre a versão mais atualizada da estrutura e acompanha o edifício até a sua demolição, conforme a Figura 29 (Schönfelder *et al.*, 2023).



Fonte: Elaborado pela autora com base em Schönfelder *et al.* (2023).

Pode-se considerar também que na etapa de operação e manutenção, o modelo *as-is* seja classificado como modelo “*as-maintained*”, conforme mantido. Dessa forma, o *facility manager* pode consultar informações diretamente no modelo ou em relatórios gerados por ferramentas de *facilities* associadas, possibilitando o acesso a informações cruciais para a tomada de decisões.

Essas informações podem ser sobre o projeto ou manutenções realizadas durante o ciclo de vida da edificação, incluindo procedimentos de instalações e reparos, garantias, substituições de peças, alterações de *layout*, informações de fornecedores, histórico de manutenções⁴¹, uso dos espaços etc.

O proprietário, como parte interessada no processo BIM, pode utilizar os recursos da tecnologia para avaliar opções de projeto com base em critérios como custo, tempo, sustentabilidade e perspectivas de operação do empreendimento (incluindo levantamento e cálculo de quantidades, simulação energética, entre outros); controle de custos e cronogramas; comissionamento e gestão de ativos com base no modelo *as-built / as-maintained* (Eastman; Teicholz; Sacks, 2011).

Modelos BIM simplificados de edificações vêm sendo utilizados para compor modelos geométricos e semânticos 3D de cidades. Segundo Harrie *et al.* (2021), essa é uma integração complexa, pois requer ajustes entre diferentes tipos de modelos de informação (ontologias⁴²).

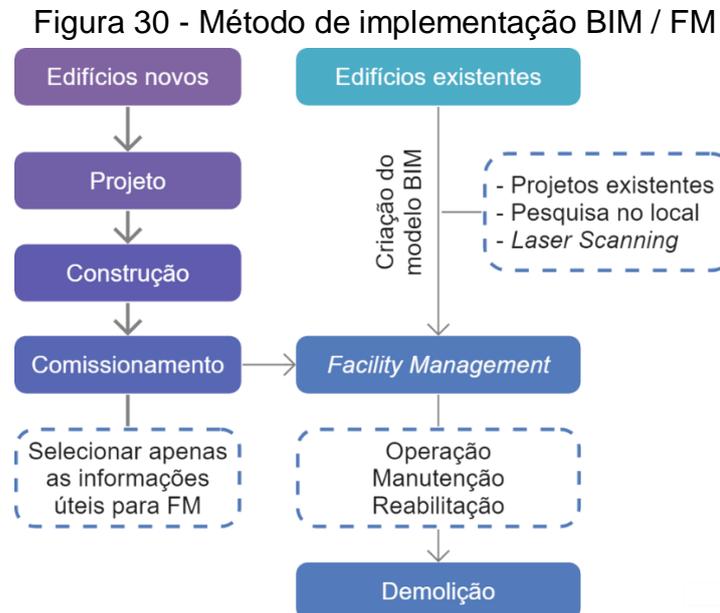
Os modelos BIM de edificações novas podem ser usados como uma alternativa ao levantamento realizado no local, para atualizar os modelos geométricos e semânticos 3D de cidades, desde que sejam atendidas as diretrizes de medição estabelecidas para lidar com múltiplas fontes de dados (Harrie *et al.*, 2021). Essas diretrizes incluem aspectos como a precisão dos dados, a padronização das informações, a integração entre os diferentes modelos e a validação dos resultados. Essas diretrizes geralmente são fundamentais para garantir a qualidade e a confiabilidade das atualizações nos modelos semânticos 3D de cidades.

Os edifícios podem ser classificados em relação ao tempo de construção, como: edifícios novos, existentes ou ainda as edificações consideradas patrimoniais (Lu; Lee, 2015, p. 181) e cada tipologia deve ser trabalhada de uma forma específica. A

⁴¹ O histórico de manutenção - relatório que documenta a execução do Plano de Manutenção, registrando serviços realizados, substituição de peças e equipamentos etc.

⁴² BIM Ontology: linguagem estruturada destinada à aquisição de conhecimento e comunicação entre pessoas (não máquinas). E inclui: conceitos, relações, atributos e conjuntos de conhecimento, utilizados para descrever todo o conhecimento dentro do domínio BIM (BIM Dictionary, 2022b).

Figura 30 apresenta resumidamente a metodologia utilizada para a implementação do BIM para a gestão de *facilities* de edifícios novos e existentes.



Fonte: Adaptado de Shahrour, Alileche e Alfurjani (2017).

Para os edifícios novos, o BIM / FM surge como modelo final da construção, mais especificamente como *as-built*, com informações sobre o edifício e os equipamentos. Informações desnecessárias à etapa de FM podem ser removidas e acrescentadas informações úteis para a gestão de *facilities* (Shahrour; Alileche; Alfurjani, 2017).

No caso dos edifícios existentes, a situação se torna um pouco mais complexa, uma vez que é necessário desenvolver o modelo BIM de uma edificação para a qual, na maioria das vezes, não existem informações sobre o projeto original, o processo de construção, eventuais modificações durante a operação ou as manutenções necessárias. Nesse cenário, o modelo é criado “*as-is*”, ou seja, conforme está refletindo fielmente a condição atual da edificação.

Inicialmente é preciso recolher toda a documentação de projeto existente, realizar visitas ao local e entrevistas com o pessoal de manutenção e operação, para recolher o maior número de informações possíveis sobre: arquitetura, estrutura, equipamentos, manutenção, utilização, consumo e manutenção.

Após a etapa de desenvolvimento ou atualização, o modelo BIM/FM pode ser disponibilizado em uma plataforma cooperativa para gestão de edifícios com

atualização contínua. É possível conectar sensores com informações dinâmicas para atualizar as informações, operar, analisar, visualizar dados operacionais e conduzir a uma gestão eficiente da edificação; realizar programação de alarmes e avisos de eventos atípicos; e realizar análise de custos operacionais, impacto ambiental, levantamento de custos de modernização para otimizar o consumo de recursos, tais como: energia elétrica e água (Shahrour; Alilleche; Alfurjani, 2017).

2.4 SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

O Sistema de Informação Geográfica (SIG) emergiu como um dos sistemas importantes para planejamento e execução colaborativa de operações usando análise de decisão multicritério envolvendo terra, mar e ar. É um sistema de informação para processamento de dados espaço-temporais, utilizado como plataforma colaborativa para visualização, análise e computação (Panigrahi, 2014).

O SIG é uma classe especial de sistema de informação que controla não apenas eventos, atividades e coisas, mas também os locais onde esses eventos, atividades e coisas acontecem ou existem. “Quase tudo que acontece, acontece em algum lugar. Saber o local onde algo acontece pode ser fundamental” (Longley *et al.*, 2009, p. 4).

Questões que envolvem localização (problemas geográficos) precisam ser classificadas de acordo à escala ou nível de detalhamento geográfico; quanto ao propósito ou intenção e escala temporal (Longley *et al.*, 2009).

Quanto à escala temporal, algumas decisões operacionais são necessárias para o bom funcionamento de uma organização e podem ser classificadas de acordo a sua urgência. Por exemplo, controlar a entrada de eletricidade em redes que apresentam picos e quedas no consumo. Outras decisões podem ser táticas e voltadas para o médio prazo, como o corte de árvores em um plano de manejo florestal para o próximo ano. Já as decisões estratégicas são necessárias para fornecer diretrizes de longo prazo a uma organização, como quando um varejista decide expandir ou racionalizar sua rede de lojas (Longley *et al.*, 2009).

O SIG se apresenta como tecnologia de suporte tanto à ciência quanto à resolução de problemas, usando o conhecimento geral e o específico da realidade geográfica.

Há várias definições de SIG, porém nem sempre são inteiramente satisfatórias. O SIG pode estar associado a diferentes conceitos, incluindo uma coleção de ferramentas de software para realizar funções específicas (software SIG), a representação digital de vários aspectos do mundo geográfico na forma de bancos de dados (dados de SIG), uma comunidade de pessoas que usam e talvez defendam o uso dessas ferramentas para diversos propósitos (comunidade de SIG); e a atividade de utilizar o SIG para resolver problemas ou avançar na ciência (fazer SIG). O simples rótulo se aplica a todos esses modos e seu significado certamente depende do contexto no qual é empregado (Longley *et al.*, 2009).

O SIG é dotado de uma estrutura de processamento eletrônico de dados que possibilita a captura, armazenamento, manipulação, análise e apresentação de dados geográficos valiosos. Essas informações são essenciais para auxiliar no processo de resolução de problemas geográficos complexos. Segundo Longley *et al.* (2009, p. 17), um SIG é um sistema de apoio à decisão espacial e um inventário mecanizado de feições e serviços geograficamente distribuídos. A Figura 31 apresenta algumas aplicações do SIG.

Figura 31 – Complexidade dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG)



Fonte: Elaborado pela autora com base em Longley *et al.* (2009).

No que diz respeito aos serviços de infraestrutura, o SIG pode ser utilizado para gerenciar tubulações subterrâneas, transformadores, linhas de transmissão, postes e contas de clientes. Além disso, o SIG é uma ferramenta que revela o que seria invisível na informação geográfica, permitindo também a análise e descoberta de dados, padrões e anomalias. Desempenha um papel crucial ao automatizar operações sobre dados geográficos que geralmente seriam tediosas, onerosas ou imprecisas se realizadas manualmente (Longley *et al.*, 2009).

2.4.1 Ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica

O Environmental Systems Research Institute, Inc., mais conhecido pela sigla ESRI⁴³, é uma empresa americana líder mundial na produção de soluções para informações geográficas. Um de seus principais produtos é a plataforma ArcGIS, que inclui o ArcInfo, um sistema *desktop* completo para usuários finais; o ArcView, um sistema mais simples para visualização, análise e mapeamento de dados; o ArcGIS Mobile, um sistema de softwares para dispositivos portáteis ou móveis; o ArcGIS Server, oferece suporte ao gerenciamento de dados e a *websites* orientados para SIG; o ArcExplorer, um visualizador de dados; e o ArcGIS Online, um recurso de hospedagem de dados e recursos de aplicativos acessível pela *web* (Longley *et al.*, 2009).

Além da ESRI⁴⁴, existem outros desenvolvedores e distribuidores de software que se especializaram em diferentes nichos de mercado, atendendo à indústria de serviços públicos, aplicações militares e de inteligência. Um exemplo é a plataforma SuperMap, que integra diversas funcionalidades e serviços que atendem a diferentes necessidades no campo da geoinformação, oferecendo ferramentas e recursos para análise, visualização e gerenciamento de dados geoespaciais.

⁴³ ESRI, 2022a - Disponível em: <https://www.esri.com/pt-br/what-is-gis/overview>. Acesso em: 10 out. 2022.

⁴⁴ ESRI, 2022b - Disponível em: www.esri.com/partners/moss-computer-grafik-a2T70000000TNZLEA4/novafactory-a2d70000000VLiCAAW. Acesso em: 1 out. 2022.

2.4.2 Áreas de aplicação do SIG

As aplicações dos Sistemas de Informação Geográfica abrangem uma ampla variedade de áreas, incluindo a criação de mapas topográficos, modelagem socioeconômica e ambiental, modelagem global e educação. Essas aplicações visam apoiar atividades como mapeamento, medição, monitoramento, modelagem e gerenciamento de setores como governo e serviços públicos, planejamento de comércio e serviços, logística e transportes, bem como meio ambiente (Longley *et al.*, 2009).

As instituições governamentais estão cada vez mais focadas na melhoria da qualidade de seus produtos, processos e serviços, buscando aumentar a eficiência no uso dos recursos. Nesse contexto, os SIG são utilizados para o inventário de recursos e infraestrutura, planejamento de rotas de transporte, aprimoramento de serviços públicos, gestão territorial e geração de retorno mediante o incremento da atividade econômica (Longley *et al.*, 2009).

Toda aplicação SIG demanda cuidado especial na definição do que pode ser representado e de que forma. Existem diversas abordagens para a representação do mundo geográfico em formato digital, sendo que nenhuma delas é perfeita ou universalmente ideal para todas as aplicações. A escolha da metodologia de representação mais adequada deve levar em consideração as necessidades específicas de cada projeto, visando garantir a precisão e a eficácia na comunicação das informações geoespaciais.

2.4.3 Técnicas de aquisição de dados

As técnicas de aquisição de dados para SIG abrangem uma variedade de métodos para coletar informações geoespaciais. Alguns dos principais métodos de aquisição de dados incluem:

- Sensoriamento remoto: utilização de sensores embarcados em aeronaves, satélites ou drones para capturar imagens e dados sobre a superfície terrestre, como imagens de satélite, fotografias aéreas e dados LIDAR⁴⁵;
- Levantamento terrestre: coleta de dados por meio de instrumentos topográficos, *Global Position System* (GPS) ou Sistema de Posicionamento Global e estações totais, a fim de obter informações precisas sobre a localização, direção, elevação e características físicas da superfície terrestre;
- Dados cartográficos: utilização de mapas existentes, cartas topográficas e outras fontes cartográficas para adquirir informações geoespaciais detalhadas;
- Dados cadastrais: coleta de informações sobre propriedades, limites territoriais, uso do solo e outras características cadastrais por meio de registros governamentais, registros imobiliários e sistemas de informação urbana.

Essas técnicas são fundamentais para a obtenção de dados precisos e atualizados que são essenciais para análises espaciais, modelagem, planejamento e tomada de decisões em SIG.

2.5 GERENCIAMENTO DAS REDES DE ENERGIA ELÉTRICA

Na sociedade atual, tecnologicamente avançada, a dependência dos cidadãos e empresas por uma infraestrutura é extremamente elevada (Semm; Becker; Kolbe, 2012). Falhas nos sistemas de geração ou distribuição de energia elétrica põe em risco diversos setores como a indústria, saúde, segurança, comunicação etc. Falhas na infraestrutura podem causar efeitos catastróficos na economia e desenvolvimento do país.

⁴⁵ *Light Detection And Ranging* (LIDAR) é uma tecnologia que utiliza pulsos de laser para medir distâncias e criar mapas tridimensionais de alta precisão. É capaz de capturar informações detalhadas sobre a forma e a estrutura de objetos e terrenos, permitindo uma análise precisa do ambiente em que é aplicado. Disponível em: <https://aeroengenharia.com/glossario/o-que-e-lidar-light-detection-and-ranging/>. Acesso em: 15 fev. 2024.

A crescente urbanização, seus impactos ambientais e as desigualdades sociais nas cidades são desafios que exigem uma perspectiva holística do planejamento urbano levando em consideração os diferentes aspectos do desenvolvimento sustentável (Agugiaro; Robineau; Rodrigues, 2017).

O gerenciamento eficiente das redes de infraestrutura urbana é um dos elementos chave para poder alcançar ganhos significativos na eficiência energética e na redução das pegadas de carbono nos ambientes urbanos (Bertoncini, 2015).

A energia elétrica consumida em um ambiente urbano está atrelada a quatro componentes fundamentais (Abbasabadi; Ashayeri, 2019):

- Energia consumida nas edificações de forma operacional: energia utilizada para aquecimento, arrefecimento, iluminação e funcionamento de equipamentos;
- Energia incorporada às edificações: energia utilizada durante a construção, manutenção, operação, demolição e o transporte associado a essas atividades;
- Energia consumida pelos transportes: energia utilizada pelos residentes das cidades através de meios diferentes de transportes (carro, ônibus, trem) para diferentes fins, como por exemplo o deslocamento para o trabalho;
- Energia utilizada nas estradas e infraestruturas: energia utilizada durante a construção, manutenção e operação das estradas e infraestruturas de uma cidade.

Quando a infraestrutura se torna complexa, o êxito depende não apenas de processos relacionados ao desempenho do sistema, mas também das decisões que envolvem planejamento, projeto, operação e manutenção (Sánchez-Silva, 2018).

Os principais objetivos da gestão energética são (Rede EAD portal capacidades, 2021):

- Entender o perfil do consumo;
- Controlar o gasto de energia;
- Propor medidas para aumentar a eficiência energética;

- Realizar rotinas de manutenção;
- Definir metas e estratégias para a instalação do ponto de vista energético;
- Monitorar;
- Tratar de dados que auxiliam a tomar decisões.

A eficiência energética é possível ser alcançada com a gestão ativa do consumo de energia em uma instalação ou instalações. É fundamental compreender como e onde a energia está sendo utilizada para identificar oportunidades de melhoria. A eficiência energética deve ser considerada desde a concepção projetual, permitindo a proposição de medidas construtivas e sistemas mais eficientes para otimizar o consumo durante a operação e manutenção. Seu objetivo é suprir a demanda de dados e informações para embasar projetos futuros.

A gestão de energia visa criar bases e metas para um planejamento que possa tornar mais eficiente o consumo de energia de uma instituição. A norma NBR ISO 50001 (2018) estabelece os requisitos para um sistema de gestão de energia. Seus pilares fundamentais são:

- Comprometimento da liderança: envolvimento ativo da alta direção na promoção de uma cultura organizacional focada na eficiência energética e no uso responsável dos recursos;
- Política energética: definição de uma política clara e abrangente relacionada ao uso e à gestão de energia, alinhada aos objetivos estratégicos da organização;
- Planejamento: estabelecimento de metas e objetivos mensuráveis para melhorar o desempenho energético, além de identificação de oportunidades de melhoria e implementação de ações para alcançar tais metas;
- Implementação e operação: execução das ações planejadas, incluindo o fornecimento de recursos necessários, capacitação dos colaboradores e comunicação eficaz sobre questões energéticas;
- Verificação e ação corretiva: monitoramento contínuo do desempenho energético, avaliação do cumprimento das metas estabelecidas e implementação de medidas corretivas quando necessário;

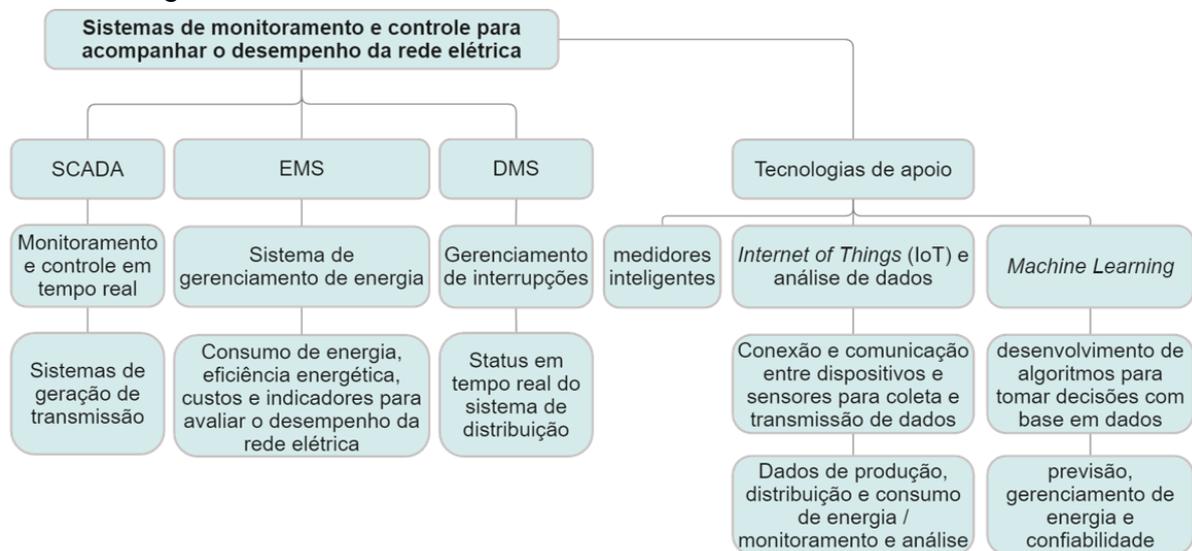
- Revisão pela direção: análise periódica do sistema de gestão de energia pela alta direção, garantindo a sua adequação e eficácia contínuas.

Esses pilares fundamentais visam promover a melhoria do desempenho energético das organizações, contribuindo para a redução do consumo de energia e dos impactos ambientais associados.

O monitoramento é a base de todo o sistema de gestão de energia, a partir do qual geralmente se obtêm os dados para traçar o perfil de consumo e identificar as características da instalação.

Existem alguns sistemas de monitoramento e controle para acompanhar o desempenho da rede elétrica, como Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA), Energy Management System (EMS) e Distribution Management System (DMS). E tecnologias de apoio como os medidores inteligentes, tecnologia de comunicação *Internet of Things* (IoT) e análise de dados e *Machine Learning*, conforme a Figura 32 apresenta.

Figura 32 - Sistemas de monitoramento das redes de eletricidade



Fonte: Elaborado pela autora com base em Taylor e Kazemzadeh (2009), Madakam, Ramaswamy e Tripathi (2015) e Ahmed *et al.* (2020).

O SCADA realiza o monitoramento e controle em tempo real de sistemas de energia elétrica, particularmente, sistemas de geração e transmissão. O DMS é utilizado no processo de gerenciamento de interrupções e pode estar associado ao recebimento

de status em tempo real do sistema de distribuição e mais funções associadas a outros aplicativos (Taylor; Kazemzadeh, 2009).

Já o EMS é o sistema de gerenciamento de energia que pode gerar relatórios e análises detalhadas sobre o consumo de energia, eficiência energética, custos, entre outros indicadores, o que facilita o trabalho de análise da equipe de operações, em avaliar o desempenho da rede elétrica, identificar oportunidades de melhorias e auxiliar a tomada de decisões.

A *Internet of Things (IoT)* ou Internet das Coisas possibilita a conexão e comunicação entre dispositivos e sensores para coleta e transmissão de dados. Os sensores conectados à IoT coletam informações em tempo real sobre produção, distribuição e consumo de energia e podem ser instalados na rede elétrica para monitoramento e análise. Constitui uma rede aberta e abrangente de objetos inteligentes que têm a capacidade de organizar automaticamente, compartilhar informações, dados e recursos, reagir e agir diante de situações e mudanças no ambiente (Madakam; Ramaswamy; Tripathi, 2015).

Machine Learning (ML) ou Aprendizado de Máquina é um campo da inteligência artificial que se concentra no desenvolvimento de algoritmos que permitem que computadores aprendam e tomem decisões com base em dados, sem serem explicitamente programados para cada tarefa. Os algoritmos de ML são amplamente utilizados no ambiente de rede inteligente para inúmeros problemas, como previsão, gerenciamento de energia e confiabilidade (Ahmed *et al.*, 2020).

A norma ABNT NBR ISO 50001 (2018) apresenta o método do Ciclo *Plan-Do-Check-Act*⁴⁶ (PDCA), que em um contexto de gestão de energia se configura nas etapas interligadas de (Figura 33):

- Planejar (*Plan*): é preciso compreender o contexto da organização, estabelecer regras e a equipe de gestão da energia, identificar os usos significativos de energia, os indicadores de desempenho energético, definir

⁴⁶ Também conhecido como Ciclo de Shewhart ou Ciclo de Deming, o ciclo PDCA é uma ferramenta de gerenciamento utilizada para promover melhorias contínuas nos procedimentos de produção através de um circuito composto por quatro etapas: Planejar–Fazer–Checar–Agir. Disponível em: <https://scopi.com.br/blog/ciclo-pdca/>. Acesso em: 8 nov. 2023.

os objetivos e metas a serem alcançadas para compor o plano de ação vislumbrando a melhoria do desempenho energético de acordo com a política energética da organização;

- Fazer (*Do*): implementar os planos de ação, controles de operação e manutenção, comunicação e assegurar competências;
- Checar (*Check*): monitorar, medir, analisar, avaliar, auditar e realizar análise crítica de desempenho energético da organização;
- Agir (*Act*): adotar ações para tratar das não conformidades e melhorar continuamente o desempenho energético.

Figura 33 - Ciclo *Plan-Do-Check-Act* (PDCA)



Fonte: Adaptado da ABNT NBR ISO 50001 (2018).

Impactos gerados a partir da gestão no consumo de energia (Rede EAD portal capacidades, 2021) incluem:

- Redução dos custos com energia;
- Redução do impacto ambiental;
- Possibilidade de otimizar os processos;
- Medição e geração de dados que podem ser usados na análise do ciclo de vida ou embasamento para programas futuros;

- Possibilidade de trabalhar a conscientização da sociedade através de programas de consumo consciente.

Depois de definidos os objetivos, podem ser estabelecidas estratégias para definir o método a ser utilizado para poder alcançar as metas propostas, respeitando as normas e orçamentos.

Exemplos de estratégias que podem ser adotadas (Rede EAD portal capacidades, 2021):

- *Retrofit* de equipamentos: trocar equipamentos defasados, que consomem muita energia, por equipamentos mais eficientes e com menor consumo, por exemplo, a troca de lâmpadas de vapor metálico pelos modelos de lâmpadas *Light Emitting Diode* (LED);
- Rotinas de manutenção: realizar a manutenção preventiva que pode reduzir o consumo de energia;
- Automação: detectores de presença e sensores associados ao IoT;
- Conscientização: mudança de hábitos de consumo.

No que se refere à automação, a Internet das Coisas pode favorecer a eficiência da iluminação pública através da instalação de sistemas de telegestão. Sensores em postes que enviam informações sobre o funcionamento das luminárias e especificações do equipamento (tipo, cor e potência da lâmpada, altura do poste, data da última manutenção, expectativa de vida útil etc.). Além disso, a dimerização pode ser utilizada para controlar a intensidade da luz, que pode economizar a vida útil da lâmpada ou adaptar a luminosidade ao nascer do sol (Engie, 2021).

As informações dos equipamentos fornecidas pelos sensores através da IoT podem auxiliar a equipe de operação e manutenção de uma área extensa como um campus universitário, pois geralmente a única forma de verificar se uma luminária está funcionando é através de contato visual, enviando um funcionário para checar, ou a partir da abertura de uma Ordem de Serviço (OS) de algum funcionário que perceber uma luminária apagada.

Com as informações complementares dos sensores, é possível enviar uma equipe para o local com o caminhão adequado à altura do poste e o tipo de lâmpada, conforme as especificações disponíveis no sistema. Isso evita desperdício de tempo e combustível, além de prevenir problemas relacionados à segurança.

Outro recurso que pode ser utilizado são os gêmeos digitais. De acordo com Dembski *et al.* (2020), os gêmeos digitais podem ser usados no contexto do planejamento urbano e cidades inteligentes. Esses gêmeos digitais são representações digitais de ativos físicos, como: edificações, ruas, vegetação e outros objetos que compõem a cidade. Estes dados podem ser integrados com informações atualizadas em tempo real, permitindo uma gestão mais eficaz do planejamento e da infraestrutura urbana.

O monitoramento do consumo de energia geralmente pode ser realizado através:

- Da fatura de energia;
- Instalação de medidores de energia nos principais sistemas;
- De softwares de gestão energética que coletam e tratam os dados; ou
- Da medição de parâmetros de uso que influencia o consumo de energia.

É necessário pautar a estratégia de gestão de energia na melhoria contínua e para isso ocorrer, é preciso avaliar se os resultados obtidos foram satisfatórios e traçar novas metas, incentivando assim a busca de novas soluções.

2.5.1 Extensões que apoiam o CityGML no âmbito das redes de utilidades

Através das chamadas *Extension of Application Domain* (ADE) ou Extensões de Domínio de Aplicação, o modelo central do CityGML pode ser alargado sistematicamente através de atributos e tipos de objetos específicos de aplicação (Kutzner; Kolbe, 2016).

Um ADE especifica uma extensão sistemática do modelo de dados CityGML compreendendo novas propriedades às classes existentes, bem como novas características ou modelos conceituais baseados no padrão CityGML (Becker; Nagel; Kolbe, 2011).

O modelo CityGML recebe o apoio de extensões para poder viabilizar aplicações no contexto do planejamento urbano. Estas extensões incluem (Hijazi; Kutzner; Kolbe, 2017, p. 289):

- O *General Indicator Model* (GIM) ou Modelo Indicador Geral é considerado um modelo de dados orientado para simplificar, avaliar e medir as informações, relacionando os indicadores aos objetos da cidade para avaliar os cenários (Elfouly; Kutzner; Kolbe, 2015);
- O *Dynamizer* é um método para melhorar modelos numéricos 3D de cidade estáticos, através de valores de propriedades dinâmicas, que pode ser um atributo, por exemplo da geometria, dados temáticos ou aparência de um objeto dentro do modelo numérico 3D de cidade. Estes valores dinâmicos podem se sobrepor a valores estáticos do atributo do objeto (Chaturvedi; Kolbe, 2016), e os dados geralmente são obtidos a partir de fontes externas como arquivos CSV (*Comma-separated values*)⁴⁷, bases de dados provenientes de simulações ou sensores instalados nos objetos da cidade;
- O *EnergyADE* (Kaden; Elfouly; Kolbe, 2015), armazena informações como: área de superfície, sombreamento, ganhos de energia por irradiação solar, ano de construção, número de andares e o tipo de uso, para serem aplicadas na modelagem de sistemas energéticos e simulações do consumo de energia térmica nas edificações. O *EnergyADE* trata de diferentes qualidades de dados, níveis de detalhes e complexidades de modelos de energia urbana;
- Na CityGML *UtilityNetworkADE* (Kutzner; Kolbe, 2016), os aspectos funcionais podem ser representados através da ligação topológica das características da rede que permite simular a propagação de falhas através de estruturas multirrede. Em Becker, Nagel e Kolbe (2011), o estudo visa, por um lado, estabelecer uma base comum para a integração dos diversos modelos, facilitando análises e tarefas de visualização conjuntas. Por outro lado, busca superar as deficiências dos modelos de rede existentes,

⁴⁷ *Comma-separated values* (CSV), é um formato de arquivo de texto que faz uma ordenação de dados em linha, separados por vírgula. Geralmente são usados para transferir dados de um aplicativo para outro.

permitindo a representação de redes heterogêneas que abordem a topologia, topografia e aspectos funcionais, incluindo a hierarquia com componentes e subcomponentes de diferentes tipos de redes.

Além da CityGMLNetworkADE, há diversos outros modelos de dados e formatos para representar redes de serviços públicos. Dentre eles, destacam-se o modelo INSPIRE Utility Network, fundamentado no modelo INSPIRE Generic Network Model; a norma ISO Industry Foundation Classes (IFC) e o modelo ESRI Geometric Network. Este último apresenta modelos distintos para redes de gás, água e eletricidade, os quais podem ser utilizados com o software ArcGIS (Kutzner; Kolbe, 2016).

Outra norma ISO que permite a representação de redes de utilidades é a Synthetic Environment Data Representation and Interchange Specification (SEDRIS, 2016). Esta norma está focada no intercâmbio e representação de ambientes sintéticos, e permite a modelagem para redes de eletricidade, água, esgoto, petróleo, gás e produtos químicos (Kutzner; Kolbe, 2016).

A OGC desenvolve uma série de normas, a exemplo da *PipelineML*, que aborda questões de infraestrutura da indústria petrolífera e de gás. É um padrão de intercâmbio de dados sobre oleodutos e gasodutos baseado em GML, que por enquanto define os componentes individuais do *pipeline* (OGC, 2021a).

Segundo a análise comparativa dos modelos de dados: INSPIRE Utility Networks, IFC, ArcGIS Utility Networks, SEDRIS⁴⁸, Pipeline ML e o CityGML UtilityNetworkADE, Kutzner e Kolbe (2016) afirmam que o modelo CityGML UtilityNetworkADE cumpre melhor os requisitos para a modelagem das redes de utilidades heterogêneas. Dessa forma, o padrão CityGML pode ser acrescido por mais aspectos funcionais necessários para o contexto dos modelos numéricos 3D de cidade. Além disso, o CityGMLUtilityNetworkADE, fornecendo conceitos para representar topologia e conectividade dentro de redes de utilidades.

⁴⁸ Tecnologia de infraestrutura que permite que aplicações de tecnologia da informação expressem, entendam, compartilhem e reutilizem dados ambientais. Padrão internacional de codificação de dados criado para representar informações ambientais em ambientes virtuais. Disponível em: <https://sedris.org>. Acesso em: 19 mar. 2024.

2.6 MODELAGEM DAS REDES DE ENERGIA ELÉTRICA

Para as empresas concessionárias de distribuição de energia elétrica, o SIG tradicional representa uma poderosa ferramenta de gestão territorial. Com a incorporação do SIG3D é possível haver uma melhor interação, pois a visualização tridimensional oferece melhores recursos para a tomada de decisão e para monitorar os ativos no subterrâneo⁴⁹ e ainda a possibilidade de visualizar os vários cabos da rede com as suas diferentes fases (tensões), de um modo bem menos poluído visualmente do que no SIG (2D) e muito mais interativo (Nero *et al.*, 2010).

Sob a óptica do CityGML UtilityNetworkADE, a rede pode ser representada de duas formas: topograficamente, com agregação de características da rede (componentes individuais a partir dos quais a rede é construída) e topologicamente, através de um gráfico com as características individuais da rede e esta pode ser decomposta em sub-redes⁵⁰, com informações sobre que tipo de mercadoria é transportada pela rede (Kutzner; Kolbe, 2016).

Segundo os autores, a rede de uma forma geral é um conjunto de características interligadas. Mas, do ponto de vista semântico é preciso considerar várias outras características:

- Uma sub-rede, pode ser uma parte de uma rede mais extensa. A Figura 34 apresenta um exemplo na rede de transmissão elétrica;
- A rede de transmissão de energia elétrica realiza a distribuição de energia em diferentes níveis de tensão. As redes de alta tensão transmitem energia para abastecer regiões por longas distâncias. Para distribuir dentro da região aos utilizadores finais, esta tensão é transformada em média tensão. E finalmente a média tensão é transformada em baixa tensão e distribuída através da rede de baixa tensão. A Figura 34 apresenta as nomenclaturas utilizadas entre as tensões, indicando os níveis de subordinação em uma

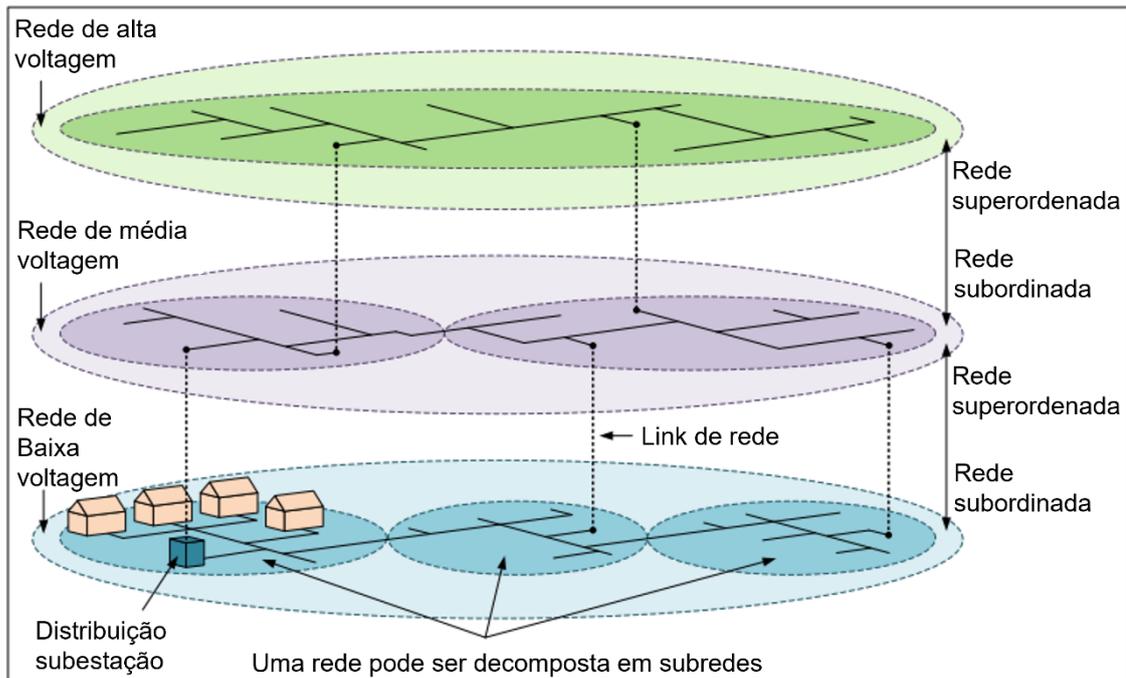
⁴⁹ No caso das redes de subsolo, como estabelecido pela lei municipal de São Paulo, o decreto nº. 47.817 de 26 de outubro de 2006 regulamenta a Lei nº 14.023, de 8 de julho de 2005, que dispõe sobre a obrigatoriedade de tornar subterrâneo todo o cabeamento instalado no Município de São Paulo.

⁵⁰ *Subnetwork*. Uma sub-rede de uma rede mais extensa.

decomposição e estruturação hierárquica das redes no contexto do fornecimento de energia;

- Essa mesma rede de distribuição (infraestrutura) pode ser utilizada para a distribuição de outro produto, de forma simultânea, alternada ou em substituição ao produto previsto, por exemplo dados.

Figura 34 - Hierarquia das redes no contexto do fornecimento de energia



Fonte: Adaptado de Kutzner e Kolbe (2016).

Em geral uma rede é constituída por um conjunto de nós que estão ligados através de vértices e arestas (Kutzner; Kolbe, 2016).

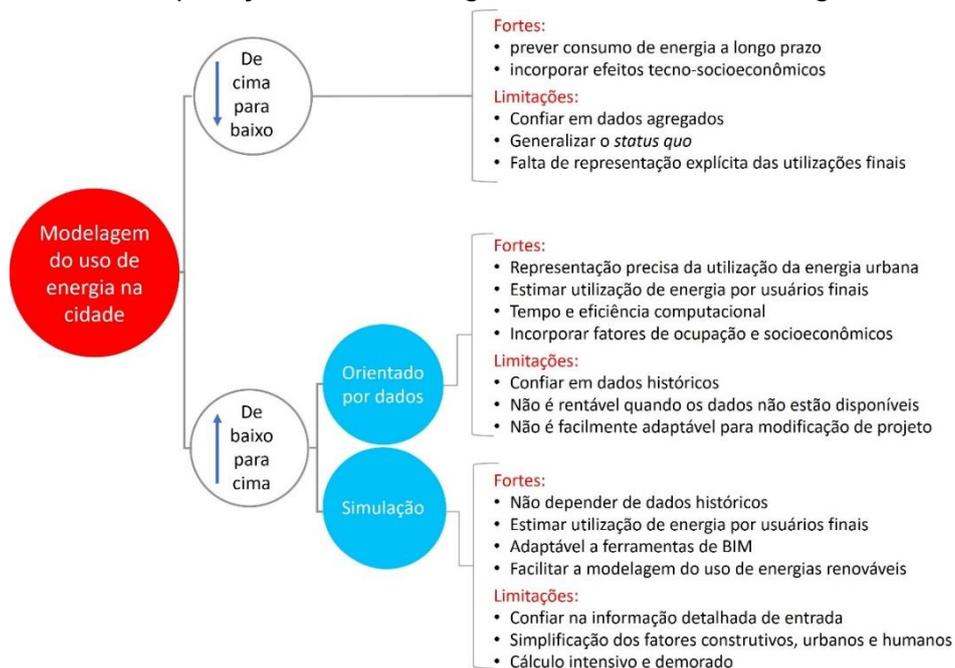
A modelagem do sistema de energia elétrica é uma área de estudo para compreender e otimizar a eficiência energética nas cidades. Os métodos de modelagem do uso de energia elétrica podem ser abordados de duas maneiras principais: modelos de cima para baixo (*top-down*) e modelos de baixo para cima (*bottom-up*). Segue a descrição dos métodos de modelagem do uso de energia urbana (Abbasabadi; Ashayeri, 2019):

- **Modelos de cima para baixo (*top-down*):** neste método não se preocupam com os usos finais individuais. A abordagem é em macro escala, utilizando o ambiente construído como referência para o consumo de energia urbana a partir de dados históricos, entendendo o consumo nas cidades com base no padrão socioeconômico. Por exemplo: Bianco, Manca e Nardini (2009)

examinam a influência de fatores econômicos e demográficos, como população e Produto Interno Bruto (PIB) per capita sobre o uso anual de energia elétrica na Itália, utilizando dados históricos; Lin e Liu (2015) investigam o consumo de energia da China comparando-o à macroeconomia. Este método apresenta limitações em relação aos dados históricos estimados e à generalização das condições existentes. Segundo os autores Bianco, Manca e Nardini (2009) e Lin e Liu (2015) é um modelo menos confiável para a investigação da demanda de fornecimento de energia para a cidade;

- Modelos de baixo para cima (*bottom-up*): este modelo utiliza uma abordagem de microescala de unidades individuais e extrapola para escalas regionais e nacionais. Essa microescala se baseia em dados extensivos para examinar o consumo de energia de cada indivíduo. O método de baixo para cima é o mais usual na modelagem do uso de energia urbana e se divide em grupos principais: modelos de engenharia baseados em simulação (ex: avaliar estratégias de energia renovável e *retrofit*) e modelos baseados em dados (estatísticos e inteligência artificial). A Figura 35 esquematiza os métodos comuns para modelagem do uso de energia, destacando as limitações e pontos fortes de cada modelo.

Figura 35 - Comparação das abordagens comuns de modelagem do uso de energia



Fonte: Adaptado de Abbasabadi e Ashayeri (2019).

Comparando o modelo orientado por dados e o modelo gerado por simulação, segundo os autores, o primeiro utiliza técnicas estatísticas e de inteligência artificial para estimar os usos de energia, considerando variáveis precisas que podem explicar, por exemplo, o comportamento dos ocupantes dos imóveis.

Já os modelos de simulação utilizam técnicas de simulação e princípios termodinâmicos e dados da construção, clima e sistema para estimar o consumo de energia. Estes dados de informações geométricas e características físicas são obtidos a partir de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), tendo o CityGML como um modelo de código aberto e padrão para o desenvolvimento do modelo numérico 3D de cidade (Mastrucci *et al.*, 2014).

Embora os modelos baseados em simulação possam explicar variáveis que normalmente não são capturadas em pesquisas de energia e métodos orientados por dados, eles são elaborados com algumas premissas relacionadas à construção e aos ocupantes, o que pode aumentar a incerteza ao modelar o consumo de energia em escala urbana (Abbasabadi; Ashayeri, 2019).

Quanto às ferramentas comumente utilizadas na modelagem do uso de energia na cidade, os autores se referem ao SIG, que permite a integração, interpretação e visualização de dados com referência geoespacial da construção e infraestrutura em escala urbana. Eles também fazem menção a ferramentas de simulação do uso de energia elétrica no ambiente urbano, como CitySim, EnergyPLAN, Urban Building Energy Models (UBEM), Urban Modeling Interface (UMI) e City Building Energy Saver (CityBES), detalhadas no Quadro 6. Essas ferramentas utilizam dados de plataformas baseadas em SIG usando o CityGML (Abbasabadi; Ashayeri, 2019).

Quadro 6 - Ferramentas de simulação do uso de energia elétrica no meio urbano

Software	Características
CitySIM ⁵¹	Suporte à tomada de decisão para o planejamento do uso de energia urbana , incluindo a simulação da demanda de consumo de energia em edificações.
EnergyPLAN ⁵²	Simulação da operação de sistemas de energia em intervalos de horário (eletricidade, aquecimento, refrigeração, indústria e transporte).

⁵¹ (CitySim, 2022).

⁵² (EnergyPLAN, 2022).

Software	Características
UBEM ⁵³	Identificação da demanda de energia nas cidades, armazenamento em banco de dados e visualização das aplicações.
UMI ⁵⁴	Software de modelagem urbana baseado no Rhinoceros que possibilita avaliações operacionais de energia, iluminação natural, entre outros. Serve como ferramenta de suporte para profissionais no desenvolvimento de edificações mais eficientes, com menor consumo de energia.
CBES API ⁵⁵	Ferramenta aberta com foco na modelagem e análise do estoque de energia, assim como um banco de dados com informações para apoiar programas de eficiência energética urbanos como a CityBES. Pode ser útil para profissionais e usuários como urbanistas, gerentes de energia urbana e proprietários de edifícios.

Fonte: Elaborado pela autora.

Chalal *et al.* (2016) apresentam uma abordagem sobre o planejamento energético e a implementação de estratégias para melhorias físicas no setor da construção. Fazem uma distinção entre a intervenção em edificações individuais e em áreas urbanas mais amplas. No estudo, o CityGML é destacado como uma abordagem proeminente para ser utilizada na escala urbana, servindo como um método de apoio ao planejamento e previsão energética.

Os estudos sobre consumo de energia costumam se concentrar na quantidade de energia necessária para aquecer ou refrigerar um ambiente. Isso significa que os dados e informações considerados nesses estudos estão relacionados a fatores físicos, climáticos e comportamentais humanos que afetam o uso de energia para controle térmico. Por exemplo, aspectos como condições meteorológicas, idade e tipo de construção, características térmicas das edificações (como isolamento térmico) são levados em conta ao analisar o consumo de energia para aquecimento ou resfriamento de um espaço.

Heiple e Sailor (2008) realizaram uma estimativa do consumo de energia em Houston (EUA), abrangendo uma área com 8 residências e 22 edifícios comerciais. Utilizaram dados locais de consumo de energia, informações fiscais dos lotes em um Sistema de Informação Geográfica (SIG), parâmetros geométricos, características térmicas e

⁵³ (Johari *et al.*, 2020).

⁵⁴ (Reinhart *et al.*, 2013).

⁵⁵ (Building technology & urban systems division, 2022).

idade das edificações. A simulação do consumo foi conduzida utilizando a ferramenta eQuest com base nos dados coletados, e em seguida os resultados foram compilados na plataforma SIG para visualização do consumo horário de energia.

* * *

Ao longo do Capítulo 2, realizou-se uma revisão bibliográfica abrangendo temas como *Smart City*, *City Information Modeling (CIM)*, *Facility Management (FM)*, Sistema de Informação Geográfica (SIG), gerenciamento das redes de energia elétrica e modelagem das redes de energia elétrica. O objetivo foi fornecer suporte para o desenvolvimento de um modelo geométrico e semântico de cidade, visando contribuir para a gestão de redes de iluminação pública.

O Capítulo 3 aborda o objeto de estudo da pesquisa: o campus universitário Federação Ondina da Universidade Federal da Bahia.

3 CAMPUS UNIVERSITÁRIO

O termo campus universitário refere-se ao espaço físico ou o complexo que comporta a infraestrutura de uma universidade. No Brasil, os *campi* universitários se adaptam às condições locais, sendo designados como campus ou cidade universitária. Esses espaços geralmente não operam de forma independente em relação aos centros urbanos. Pelo contrário, se integram à estrutura das cidades, contando com serviços de transporte, moradia, supermercados e farmácias que oferecem suporte aos estudantes, funcionários e professores das instituições de ensino superior (Teles, 2015).

No século XX, as cidades universitárias surgiram da concentração de unidades isoladas, anteriormente distribuídas em edifícios espalhados pela cidade. Geralmente, essas cidades universitárias estão localizadas em um único local afastado do centro da cidade, com a reunião de escolas, serviços e alojamentos (Segawa, 1999).

[...] as cidades universitárias constituíram intervenções de ocupação de vazios ainda não urbanos numa escala sem precedentes, organizando vetores de expansão para as cidades. Cidades ao lado de cidades para se tornarem cidades dentro de cidades, os *campi* universitários foram laboratórios de urbanismo tratando da ocupação de territórios virgens (Segawa, 1999, p. 46).

Inserido no contexto urbano, o campus universitário tem papel importante no desenho e estrutura das cidades, pois traz grandes consequências e intervenções (Esteves; Falcoski, 2013).

Um *campus* universitário abriga uma instituição de alta relevância para a sociedade, pela sua indiscutível importância científica, cultural e educacional, no entanto, configura-se como um equipamento de alta complexidade que pode impactar positivamente ou negativamente no ambiente natural e no cotidiano do meio urbano, quando se destaca em relação à dimensão, características físicas e quantidade de população usuária (Oliveira; Silva, 2010).

A qualidade do espaço físico do *campus* universitário reflete a integração entre diversos elementos projetuais como edifícios, espaços abertos, vias de circulação, estacionamentos, áreas verdes e infraestrutura (Oliveira; Silva, 2010, p. 2).

3.1 GESTÃO DO ESPAÇO UNIVERSITÁRIO

O *campus* universitário reúne e integra diversas atividades de maneira econômica e funcional, respeitando-se as limitações técnicas, financeiras e de recursos humanos, e deve cumprir suas metas de educação, extensão e pesquisa. Tudo isso requer um espaço físico adequado, organizado de forma a permitir que essas atividades ocorram de maneira eficiente (Esteves; Falcoski, 2013).

Os *campi* estão constantemente em processo de expansão e adaptação, o que necessita de planejamento, projetos, recursos e infraestrutura, para que possam funcionar de forma ordenada, seguindo um cronograma físico e financeiro eficiente (Esteves; Falcoski, 2013). Sob esta ótica, é preciso seguir um planejamento eficiente de recursos e projetos das instalações físicas para alcançar um desenvolvimento eficiente e coerente, e principalmente seguindo as prioridades da comunidade universitária.

3.1.1 Panorama das universidades públicas

A universidade surge na Europa no período chamado de Renascimento Urbano, iniciado em meados do século XI. No centro urbano, elas delimitaram o seu território, transformando edificações pré-existentes ou construindo edifícios especializados. No entanto, essa relação não é simples e traz consigo benefícios, mas também problemas (Andrade; Pavesi, 2012).

A universidade tem sido uma instituição social reconhecida por sua legitimidade e autonomia, estruturada por regras e valores internos. Sua legitimidade moderna se baseou na autonomia do conhecimento em relação à religião e ao Estado, resultando na ênfase em formação, reflexão, criação e crítica. Com as lutas sociais e políticas dos últimos séculos, com a conquista da educação e da cultura como direitos, a universidade também se tornou associada à ideia de democracia e democratização do saber, seja para promovê-la ou para opor-se a ela (Chai, 2021).

O *campus* universitário surgiu no final do século XVIII como modelo de implantação de instituições de educação superior, nos Estados Unidos, e após a Segunda Guerra, difundiu-se em outros países, incluindo a América Latina. No Brasil, esse modelo

americano de *campus* foi introduzido nas décadas de 1950 e 1960 (Andrade; Pavesi, 2012).

Desde a sua criação, as universidades brasileiras têm passado por alterações físicas e de gestão. Andrade e Pavesi (2012) relatam que, a partir do início da década de 1960, o planejamento de *campi*, já fortemente influenciado pelas vertentes teóricas com conteúdos sociais e pedagógicos, passa com o golpe militar a ser regido por uma racionalidade técnica, na adequação de meios e fins, nos conceitos de eficiência e otimização, em detrimento da participação da comunidade no debate sobre os valores que deveriam orientar o desenvolvimento físico da instituição.

A educação superior pública brasileira vivenciou, nas últimas décadas do século XX, uma crise decorrente, principalmente da falta de recursos humanos, financeiros e materiais. Várias atividades nas universidades foram prejudicadas, o que aumentou a distância entre o saber produzido na academia e a população (Silva, 2015).

Segundo o PDI 2018-2022 (UFBA, 2017a), as dificuldades orçamentárias no ano de 2015, com os cortes de orçamentos e contingenciamento de recursos, que já eram insuficientes para atender às necessidades do ciclo de crescimento, gerou instabilidade na manutenção dos contratos de trabalhadores terceirizados, além de uma série de outras restrições. Por esse motivo, várias obras da UFBA ficaram inacabadas, como é o caso do prédio anexo da Escola Politécnica, que permanece inacabado até os dias atuais (2024).

Com as mudanças políticas recentes, espera-se que as Universidades Federais voltem a ser reconhecidas como instituições fundamentais para a disseminação do conhecimento, a transformação social e o atendimento às diversas necessidades da sociedade por meio da educação, pesquisa e extensão. Essa mudança de percepção pode ter impactos significativos no financiamento, autonomia e missão das Universidades Federais, contribuindo para fortalecer o papel dessas instituições na sociedade.

3.1.2 Gestão em universidades públicas

O Fundo Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FNDCT) foi criado em 1969, para ser o fundo de natureza contábil com o objetivo de financiar a inovação

e desenvolvimento científico e tecnológico. Este é gerenciado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP). Dentre os fundos setoriais em operação, implementados no início dos anos 2000, está o fundo de CT-Infra, que promove a modernização e ampliação da infraestrutura e dos serviços de apoio à pesquisa das instituições públicas de ensino superior e pesquisa (FINEP, 2020).

O objetivo do fundo é garantir a estabilidade de recursos para a área e criar um modelo de gestão, com a participação de vários segmentos sociais, além de promover maior sinergia entre as universidades, centros de pesquisa e o setor produtivo (FINEP, 2020).

Com base no Plano de Desenvolvimento da Educação (PDE) de 2007, foi implementado o Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (REUNI), que teve como principal objetivo ampliar o acesso e a permanência na educação superior. O REUNI estabeleceu uma série de medidas pelo Governo Federal para impulsionar o crescimento do ensino superior no país, proporcionando condições para a expansão física, acadêmica e pedagógica no âmbito federal (Esteves; Falcoski, 2013).

A oferta de vagas nas universidades federais foi ampliada desde a implantação do REUNI, porém, para atender a esta expansão no número de vagas foi preciso requalificar e expandir as instalações físicas. Nessa nova condição é essencial um planejamento estratégico de gestão, que seja eficiente e dinâmico.

Conforme Esteves e Falcoski (2013), além das legislações específicas aplicadas sobre órgãos públicos orientando seu processo de expansão, como a Lei 8666/93, que estabelece normas para licitações e contratos da Administração Pública (Brasil, 1993), as universidades desenvolvem seus próprios Planos Diretores e Planos de Desenvolvimento Institucionais (PDI), pautando diretrizes de crescimento e desenvolvimento para a Instituição. Entretanto esses planos não são dinâmicos e acabam ficando obsoletos devido às mudanças de necessidades de espaços físicos específicos e do aumento constante de usuários.

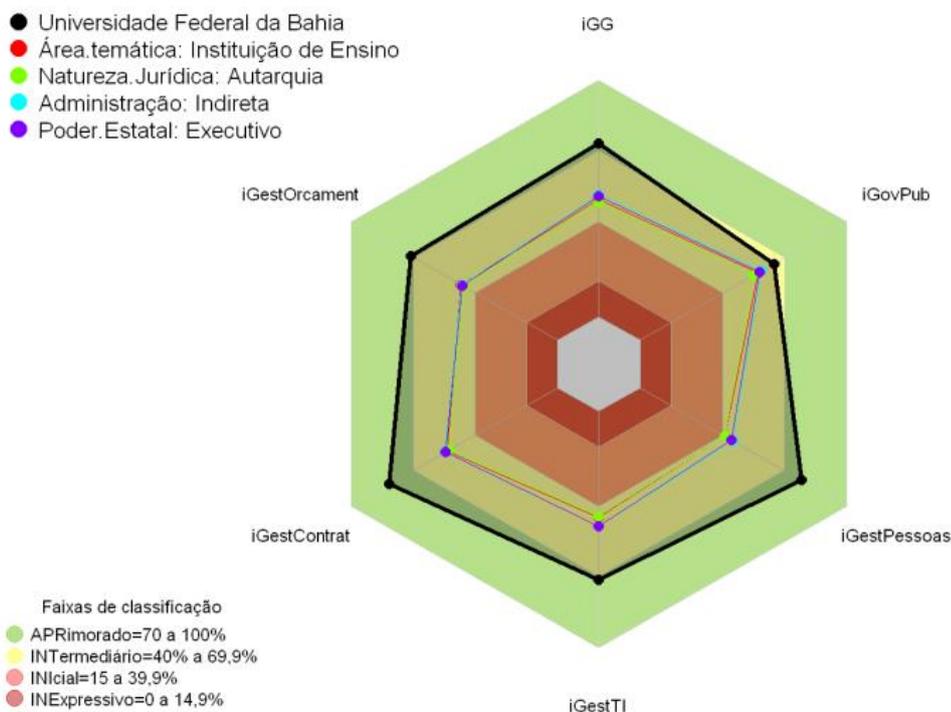
Seria importante estabelecer critérios e procedimentos que tornassem os Planos Diretores e Planos de Desenvolvimento Institucionais mais dinâmicos e participativos,

tornando-os ferramentas que subsidiassem o processo de expansão dentro dos *campi* universitários.

O Tribunal de Contas da União (TCU) realiza levantamentos a partir de instrumentos de autoavaliação para conhecer melhor a situação da governança no setor público e estimular as organizações públicas a adotarem boas práticas de governança e gestão pública. E estes resultados são publicados no Portal TCU⁵⁶, atendendo ao princípio da transparência (TCU, 2021a).

Em relação à gestão no ano de 2021, a UFBA obteve a mais alta classificação no Índice de Governança e Gestão (IGG), de acordo com o Levantamento de Governança e Gestão Públicas do TCU. A porcentagem alcançada pela UFBA se enquadra na faixa de classificação considerada aprimorada, entre 70% e 100%, conforme apresentado na Figura 36. O gráfico comparativo inclui dados de 378 organizações públicas, tais como instituições de ensino, autarquias, instituições de administração indireta e órgãos do poder estatal executivo (UFBA, 2022a).

Figura 36 - Gráfico do IGG2021: Governança Pública Organizacional



Fonte: UFBA (2022a).

⁵⁶ Governança Pública do Tribunal: <https://portal.tcu.gov.br/governanca/governancapublica/rganizacional/levantamento-de-governanca/>. Acesso em: 24 out. 2022.

O Quadro 7 apresenta os índices de governança e gestão pública em universidades públicas, mostrando que, apesar dos cortes orçamentários, elas mantêm uma capacidade relativamente sólida de gestão. O IGG sugere que, no geral, as universidades conseguem manter um nível satisfatório de governança e gestão, mesmo diante das restrições orçamentárias. No entanto, é possível observar discrepâncias em áreas como gestão de TI e governança orçamentária, indicando áreas que podem precisar de mais atenção e recursos para melhorias. Isso destaca a importância de avaliar e fortalecer constantemente a capacidade de gestão nas instituições públicas para garantir eficiência, mesmo em tempos desafiadores (UFBA, 2022a).

Quadro 7 - Índices de governança e gestão públicas

Indicador	Valor (%)
iGG (índice integrado de governança e gestão públicas)	73,2
iGovPub (índice de governança pública)	64,7
iGovPessoas (índice de governança e gestão de pessoas)	68,8
iGestPessoas (índice de capacidade em gestão de pessoas)	77,9
iGovTI (índice de governança e gestão de TI)	60,3
iGestTI (índice de capacidade em gestão de TI)	71,1
iGovContrat (índice de governança e gestão de contratações)	71,8
iGestContrat (índice de capacidade em gestão de contratações)	81,5
iGovOrcament (índice de governança e gestão orçamentária)	63,3
iGestOrcament (índice de capacidade em gestão orçamentária)	70,9

Fonte: UFBA (2022a).

Vale ressaltar que o TCU alerta que “[...] o uso do IGG (ou de seus subindicadores) na forma de ranking⁵⁷ não é adequado na maioria das situações, pois frequentemente as organizações públicas não são diretamente comparáveis, senão com aquelas do mesmo segmento [...]” (TCU, 2021b⁵⁸). E, como os indicadores são produzidos a partir

⁵⁷ *Ranking*: classificação.

⁵⁸ Disponível em: https://www.google.com/url?client=internal-element-cse&cx=014966672901662145021:f15apafnw0i&q=https://portal.tcu.gov.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp%3FfileId%3D8A81881F750376EF017504A2D81C0E81&sa=U&ved=2ahUKEwioyp_e7_n6AhUGspUCHQh7BmgQFnoECAUQAQ&usg=AOvVaw3dm3s8CoNJ0lqzw-AISwzD. Acesso em: 24 out. 2022.

das respostas das próprias organizações e não passa por uma verificação das informações fornecidas, esta classificação está sujeita a imprecisões.

No PDI 2018-2022, no objetivo estratégico 10, a UFBA propõe ações de qualificação da infraestrutura física e ambiental da Universidade, contribuindo para a sustentabilidade de suas instalações e serviços, inclusive mediante a utilização de novas tecnologias (UFBA, 2017a, p. 119).

3.2 CAMPUS FEDERAÇÃO ONDINA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA

Paralelamente ao embasamento teórico, houve a necessidade de compreender a área a ser trabalhada, tanto fisicamente, quanto em relação às necessidades e problemas rotineiros. Para isso, foram realizadas visitas a campo (Figura 37), análise dos projetos e documentações existentes, e entrevistas com funcionários da Superintendência do Meio Ambiente e Infraestrutura (SUMAI) da UFBA.

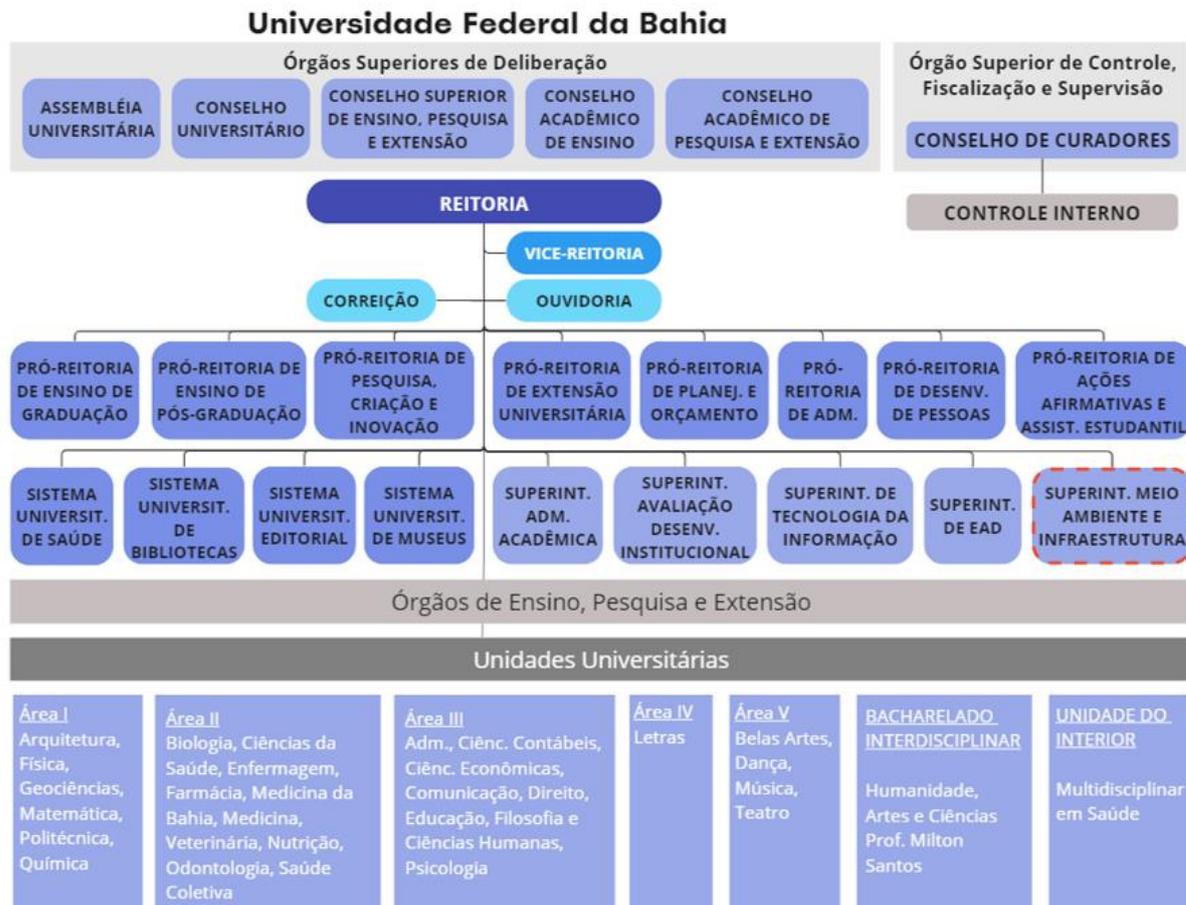
Figura 37 - Praça Cívica Campus Ondina (UFBA)



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 38 apresenta o organograma da UFBA com destaque para a SUMAI em sua posição dentro da instituição.

Figura 38 - Organograma da UFBA



Fonte: Adaptado de UFBA (2022b)⁵⁹.

A partir dessas visitas e entrevistas, tornou-se evidente a importância da informação no desenvolvimento das atividades das equipes de operação e manutenção. Muitas vezes, esse processo exige um esforço adicional, uma vez que há falta de informações sobre as redes existentes. Essa lacuna também contribui para a insegurança dos funcionários durante a execução dos serviços.

Compete a SUMAI planejar, coordenar e controlar o desenvolvimento da infraestrutura e patrimônio físico, e elaborar, acompanhar e coordenar a implantação das políticas de gestão ambiental, bem como zelar pela manutenção das instalações físicas e espaços comuns (UFBA, 2017b, p. 160). Dentre as suas atribuições destacam-se:

- Manter o controle e registro de documentos referentes ao espaço físico da Universidade;

⁵⁹ UFBA (2022b). Disponível em: <https://proplan.ufba.br/organograma-ufba>. Acesso em: 24 out. 2022.

- Manter os imóveis em bom estado de conservação executando obras de manutenção preventiva e corretiva;
- Manter atualizado, no Sistema de Patrimônio dos Imóveis da União, o cadastro dos bens imóveis da Universidade;
- Acompanhar e manter atualizadas as instruções normativas e outros atos regulamentadores publicados pela Secretaria de Patrimônio da União (SPU) ou por outros órgãos do Governo Federal;
- Criar e manter o sistema de arquivamento do acervo histórico das plantas físicas da Universidade.

3.2.1 População e usos

Conforme o PDI 2018-2022, desde a sua criação até dezembro de 2015, a UFBA levou ao mercado de trabalho 104.157 graduados, 11.747 mestres e 2.955 doutores, contribuindo para as transformações sociais, culturais, políticas e econômicas que marcam a Bahia desde meados do século XX (UFBA, 2017a).

A Universidade que resulta desse ciclo de expansão já tem as dimensões de uma pequena cidade, com uma população em torno de 50.000 habitantes: são 35.000 alunos da Graduação e 5.000 alunos da Pós-Graduação, além de docentes, servidores técnico-administrativos e terceirizados. Em 2016, contabiliza 125 cursos de pós-graduação, dos quais 53 doutorados e 72 mestrados (UFBA, 2017a, p. 27).

Para atualizar o levantamento realizado pela instituição em plena pandemia, referente ao ano de 2020 e a um Semestre Letivo Suplementar (SLS) atípico, foram ofertadas 87.422 vagas em 1.825 disciplinas para a graduação, e 14.628 vagas em 968 componentes para a pós-graduação (UFBA, 2021a). No entanto, nem todos os alunos participaram do SLS, o acesso aos dados disponíveis foi durante o período de pandemia.

Conforme o Relatório de Gestão de 2021 (UFBA, 2021b), de acordo com o levantamento de indicadores de custos de manutenção no período entre 01/01/2021 e 31/12/2021 (Quadro 8Quadro 8), a população da UFBA, entre técnicos, docentes, estudantes e terceirizados, era de 49.537 pessoas.

Quadro 8 - Indicadores de custo de manutenção e reforma

Área construída		399.572,25 m ²
População	Técnico	3.074
	Docente	2.748
	Estudante	42.300
	Terceirizado	1.415
Custo da manutenção (R\$)		10.562.830,86
Custo da manutenção / m ² (R\$)		26,43
Custo da manutenção / estudante (R\$)		249,71
Custo da manutenção / população (R\$)		213,23

Fonte: Adaptado de UFBA (2021b).

3.2.2 Superestrutura: edificações e equipamentos

A superestrutura física da UFBA é composta por 31 unidades universitárias, além de três hospitais universitários, três museus, uma creche, três fazendas experimentais, quatro residências universitárias, um restaurante universitário e um centro de esportes, detalhados no Quadro 9, com destaque para o Campus Federação Ondina (UFBA, 2017a).

Quadro 9 - Caracterização da área física da UFBA

	2013	2014	2015	2016
Área territorial (m ²)	6.367.561,90	5.826.097,82	5.826.097,82	5.826.097,82
Área construída (m ²)	354.265,79	338.894,44	338.894,44	338.894,00
<i>Campi</i>	4	3	3	3
Unidades universitárias	32	31	31	31
Campus Canela	10	10	11	11
Campus Federação Ondina	15	15	15	15
Dispersas na malha urbana	5	5	4	4
Campus Anísio Teixeira – IMS	1	1	1	1
Campus Reitor Edgard Santos	1	-	-	-
Hospitais Universitários	3	3	3	3
HUPES e MCO	2	2	2	2
HOSPMEV	1	1	1	1

	2013	2014	2015	2016
Museus: MAE, MAFRO e MAIS	3	3	3	3
Creche	1	1	1	1
Fazendas experimentais	3	3	3	3
Residências universitárias	5	5	4	4
Restaurante universitário	1	1	1	1
Centro de esportes	1	1	1	1
Pavilhões de aulas teóricas e práticas por local	16	11	11	11
Campus Salvador	9	9	9	9
Campus Anísio Teixeira - IMS	2	2	2	2
Campus Edgard Santos	5	-	-	-

Fonte: Adaptado de UFBA (2017a).

Já o Quadro 10 apresenta a infraestrutura da UFBA composta por edificações, equipamentos e instalações no ano base de 2020 (UFBA, 2021a).

Quadro 10 - Infraestrutura da UFBA

Edificações, equipamentos e instalações	
Item	Unidade
Área territorial (m ²)	5.835.903,67
Área construída (m ²)	399.572,25
<i>Campi</i>	3
Unidades Universitárias	32
Hospitais Universitários: HUPES e MCO	2
Hospital de Medicina Veterinária	1
Museus	3
Creche	1
Fazendas experimentais	1
Residências universitárias	4
Restaurante universitário	1
Ponto de distribuição de alimentos	2
Centro de esportes	1
Pavilhões de aulas teóricas e práticas	11

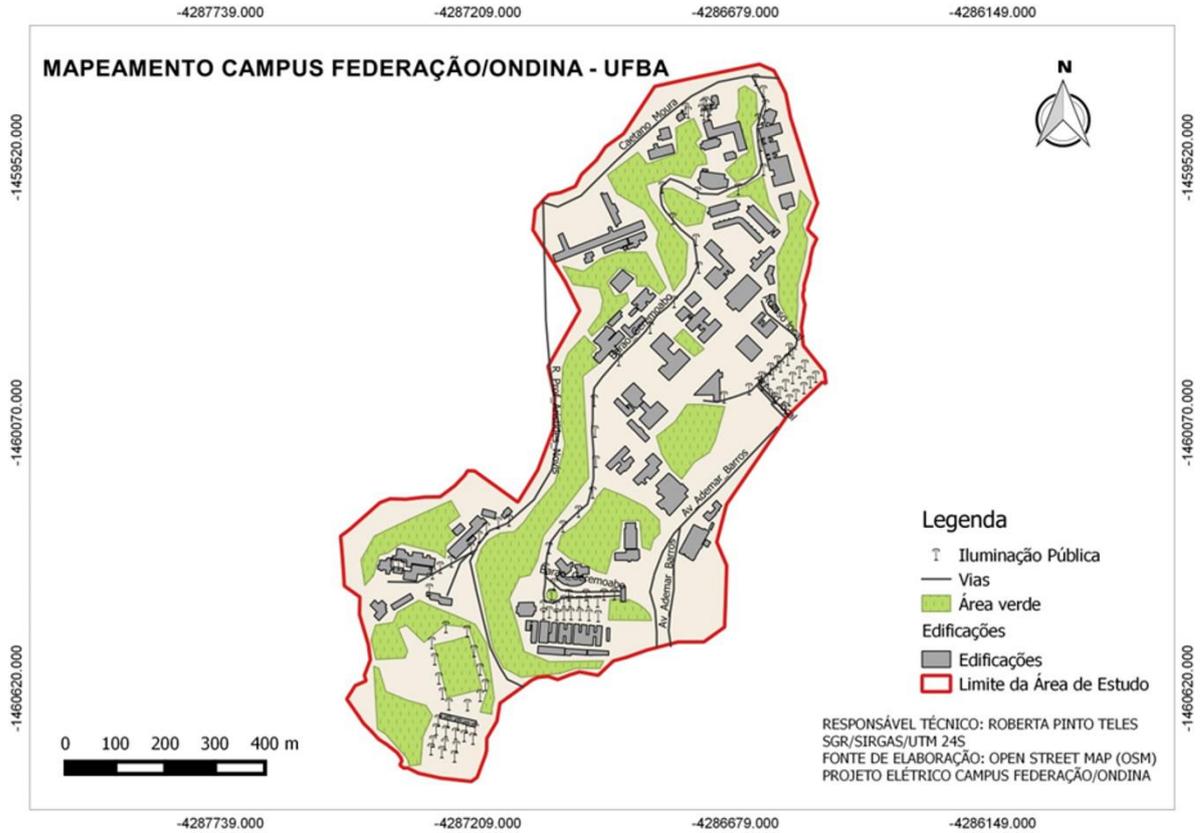
Fonte: Adaptado de UFBA (2021a).

Segundo Pereira (2017, p. 32), o Campus Federação iniciou a sua implantação no final dos anos 1950 com a construção da Escola Politécnica e da Faculdade de Arquitetura em meados dos anos 1960. Entre 1967 e 1971 foram executadas as obras dos Institutos de Biologia, Física, Geociências, Matemática, Química e Centro de Processamento de Dados. Entre 1975 e 1983, o Escritório Técnico Administrativo (ETA) executou o plano de ocupação física do Campus Federação Ondina, licitação e fiscalização das obras. Desde então, a Prefeitura do *campus* é a responsável pela manutenção e conservação dos *campi*.

Dando continuidade aos serviços de infraestrutura do Campus Federação Ondina, entre 1988 e 1991, sob a responsabilidade da Prefeitura do *campus*, foi executado o projeto, a licitação e a fiscalização dos serviços de implantação de estacionamentos, acessos, drenagem e novas edificações. Segundo Nery *et al.* (2016, p. 3), o estudo de implantação do *campus* seguia o conceito norte-americano de universidade flexível, integral e funcional. Sofreu grande influência do movimento moderno na sua arquitetura e urbanismo, sobretudo dos projetos e ideais de Le Corbusier, com linhas retas e curvas.

O Campus Federação Ondina da Universidade Federal da Bahia localizado em Salvador, Bahia, abrange uma área de 60 ha, contendo 75 edificações. Segundo Nery *et al.* (2016, p. 4), os pavilhões de aula, laboratórios e institutos são dispostos de acordo às áreas de ensino, enquanto serviços como agências bancárias e órgão técnico-administrativos, estão localizados próximos à portaria principal do *campus*, na Avenida Milton Santos (antiga Av. Ademar de Barros). A Figura 39 mostra a localização da área em estudo.

Figura 39 - Mapa da área de estudo



Fonte: Elaborado pela autora.

As 75 edificações agregam:

- 15 unidades universitárias;
- 6 pavilhões de aula;
- 2 restaurantes universitários;
- 2 bibliotecas;
- 2 bancos.

Com base nos projetos fornecidos pela SUMAI, foi possível listar no Quadro 11 as unidades que compõem o CFO da UFBA.

Quadro 11 - Listagem das unidades / acessos do CFO da UFBA

Itens	Cód.	Unidades do CFO	Localização
1	DAN	Escola de Dança	Campus Ondina
2	EMEV	Escola de Medicina Veterinária e Zootecnia	Campus Ondina
3	FACOM	Faculdade de Comunicação	Campus Ondina

Itens	Cód.	Unidades do CFO	Localização
4	FAR	Faculdade de Farmácia	Campus Ondina
5	BIO	Instituto de Biologia	Campus Ondina
6	FIS	Instituto de Física	Campus Ondina
7	IGEO	Instituto de Geociências	Campus Ondina
8	IHAC	Instituto de Humanidades, Artes e Ciências Prof. Milton Santos	Campus Ondina
9	LET	Instituto de Letras	Campus Ondina
10	MAT	Instituto de Matemática	Campus Ondina
11	QUI	Instituto de Química	Campus Ondina
12	PAF V	Pavilhão de Aulas da Federação V	Campus Ondina
13	PAF III	Pavilhão de Aulas Glauber Rocha (antigo PAF III)	Campus Ondina
14	PAF I	Pavilhão de Aulas Reitor Felipe Serpa (antigo PAF I)	Campus Ondina
15	POLI	Escola Politécnica	Campus Federação
16	ARQ	Faculdade de Arquitetura	Campus Federação
17	FFCH	Faculdade de Filosofia e Ciências Humanas	Campus Federação
18	IPSI	Instituto de Psicologia	Campus Federação
19	PAF VI	Pavilhão de Aulas da Federação VI (PAF VI)	Campus Federação
20	PRS	Pavilhão de Aulas Raul Seixas	Campus Federação
21	PASL	Pavilhão de Aulas Thales de Azevedo (Antigo PASL)	Campus Federação
22	CEAB	Centro de Estudos da Arquitetura na Bahia	R. Caetano Moura, Federação
23	DCE	Diretório Central dos Estudantes	R. Caetano Moura, Federação
24	FAPEX	Fundação de Apoio à Pesquisa e Extensão	Ondina
25	NEIM	Núcleo de Estudos Interdisciplinares sobre a Mulher	Federação
26	PROEX	Pró-Reitoria de Extensão	Campus Ondina
27	PDSL	Posto de Distribuição de Alimentos	Ondina
28	BIB ISAIAS	Biblioteca Isaias Alves	Campus Federação
29	CCF	Coordenação de Contabilidade e Finanças	Campus Ondina
30	PROAD	Pró-Reitoria de Administração	Campus Ondina
31	PRODEP	Pró-Reitoria de Desenvolvimento de Pessoas	Campus Ondina
32	SEAD	Superintendência de Educação a Distância	Campus Ondina
33	SUMAI	Superintendência do Meio Ambiente e Infraestrutura	Campus Ondina
34	AGBB	Agência do Banco do Brasil	Campus Ondina
35	ASSUFBA	Associação dos Funcionários da UFBA	Campus Ondina
36	AUD - BIO	Auditório de Biologia	Campus Ondina

Itens	Cód.	Unidades do CFO	Localização
37	BC	Biblioteca Central	Campus Ondina
38	BIBEX	Biblioteca de Exatas	Campus Ondina
39	BIOT	Biotério	Campus Ondina
40	CCALAB	Centro de Criação de Animais de Laboratório	Campus Ondina
41	CED	Centro Editorial e Didático	Campus Ondina
42	CEEF	Centro de Educação Física e Esportes	Campus Ondina
43	CENPS / CIENAM	Centro de Pesquisa da Petrobrás / Centro Interdisciplinar de Energia e Ambiente	Campus Ondina
44	CPD - STI	Centro de Processamento de Dados – Superintendência de Tecnologia da Informação	Campus Ondina
45	CTEL	Central Telefônica	Campus Ondina
46	DIM	Divisão de Materiais – DIV MAT. Hoje Coordenação de Materiais e Patrimônio (CMP)	Campus Ondina
47	HOSPMEV	Hospital de Medicina Veterinária	Campus Ondina
48	LGN	Laboratório de Igeofísica Nuclear	Campus Ondina
49	PAF II	Pavilhão de Aulas da Federação II	Campus Ondina
50	PAF IV - CIDIO	Pavilhão de Aulas IV – Centro de Idiomas	Campus Ondina
51	RU	Restaurante Universitário	Campus Ondina
52	PCA - CIV	Praça Cívica	Campus Ondina
Itens	Cód.	Acessos	Localização
53	POND	Pórtico Ondina – Guarita acesso	Campus Ondina
54	POR - MAT	Acesso Matemática	Campus Ondina
55	POR - OND	Acesso Ondina	Campus Ondina

Fonte: Elaborado pela autora.

O Campus Federação Ondina é composto por áreas livres e edificações. Entre as edificações, destacam-se os pavilhões de aula, institutos, faculdades, hospitais, bibliotecas, laboratórios, refeitórios, unidades administrativas, bancos, depósitos e áreas técnicas e de manutenção. Além disso, o campus conta com espaços abertos, como praças, campo de atletismo, estacionamentos e portões de acesso, todos interligados por vias de acesso, tanto para veículos quanto para pedestres.

3.2.3 Gestão da manutenção e operação

Consta no Plano de Desenvolvimento Institucional (PDI) da UFBA, que a SUMAI deve responder às muitas e complexas tarefas no que se refere ao meio ambiente e à

infraestrutura. São demandados serviços de arquitetura, de engenharia, de licitações, contratos, controles, fiscalização, processos e procedimentos no cotidiano da universidade (UFBA, 2012).

No que tange à manutenção predial, a SUMAI é responsável pelos serviços que envolvem atividades internas e externas aos prédios, contemplando as modalidades de civil, elétrica, hidráulica, climatização, telecomunicações e elevadores (UFBA, 2017b).

Os serviços são distribuídos em núcleos, conforme o Quadro 12 segundo o *website* da SUMAI (2023).

Quadro 12 - Núcleos de serviços da SUMAI

Núcleo	Serviços
Manutenção elétrica, eficiência energética e refrigeração	Serviços de substituição e reparo de iluminação pública, cabos, disjuntores e quadros de distribuição; manutenção em subestações; manutenção em equipamentos de refrigeração; manutenção de elevadores.
Ações ambientais, urbanização e conservação de áreas verdes	Poda e plantio de árvores; paisagismo; limpeza de áreas externas; controle domissanitário (descupinização, desinsetização e desratização das áreas internas e externas das unidades); gestão de resíduos e gestão sustentável. Gestão ambiental (educação ambiental, projetos para a gestão de resíduos, programa de coleta seletiva solidária, coleta de lâmpadas fluorescentes, elaboração e implementação de projetos voltados para a gestão sustentável dos recursos da Universidade).
Manutenção civil	Civil (manutenção carpintaria, pedreiro, pintura, telhado, forro, vidraçaria, soldador, outros); hidráulica (reparo de vazamento de água, desobstrução por entupimento, assentamento, instalação de ponto de água); urbanização e pavimentação.
Manutenção de tecnologias de informação e comunicação	Manutenção de ramais e ponto de rede (manutenção do sistema telefônico, da rede interna de telecomunicações; manutenção corretiva e preventiva dos equipamentos de telefonia; instalação operação e gerenciamento dos equipamentos de telefonia; ampliação e manutenção da rede primária e secundária de telefonia; manutenção da rede de comunicação de dados; coordenação, assistência técnica, fiscalização e vistorias em obras de reforma e construção na área de tecnologia da informação etc.

Fonte: Elaboração pela autora com base no *website* da SUMAI (2023).

É importante destacar que o trabalho tem como recorte os serviços que envolvem a rede de infraestrutura elétrica em áreas externas, mais especificamente, serviços que estejam vinculados à gestão do sistema de iluminação externa, tais como: substituição e/ou reparo de iluminação externa, cabeamento, caixas de passagem, subestações, postes de iluminação etc.

4 REDES DE INFRAESTRUTURA DO CAMPUS FEDERAÇÃO ONDINA DA UFBA

“[...] a infraestrutura urbana reflete diretamente no cotidiano das cidades. Uma rede de infraestrutura eficiente permite a otimização dos recursos e processos das mesmas” (Freire, 2017, p. 24).

Não existe uma única definição para o termo infraestrutura urbana. São diferentes definições, mas há um entendimento de que a infraestrutura corresponde à base, ao sustentáculo, que dá suporte a existência e funcionamento da cidade, é o que une os diferentes conceitos. Vale ressaltar que o termo infra não está associado à localização, mas sim à sua natureza enquanto base de sustentação para as diferentes atividades urbanas (Freire, 2017).

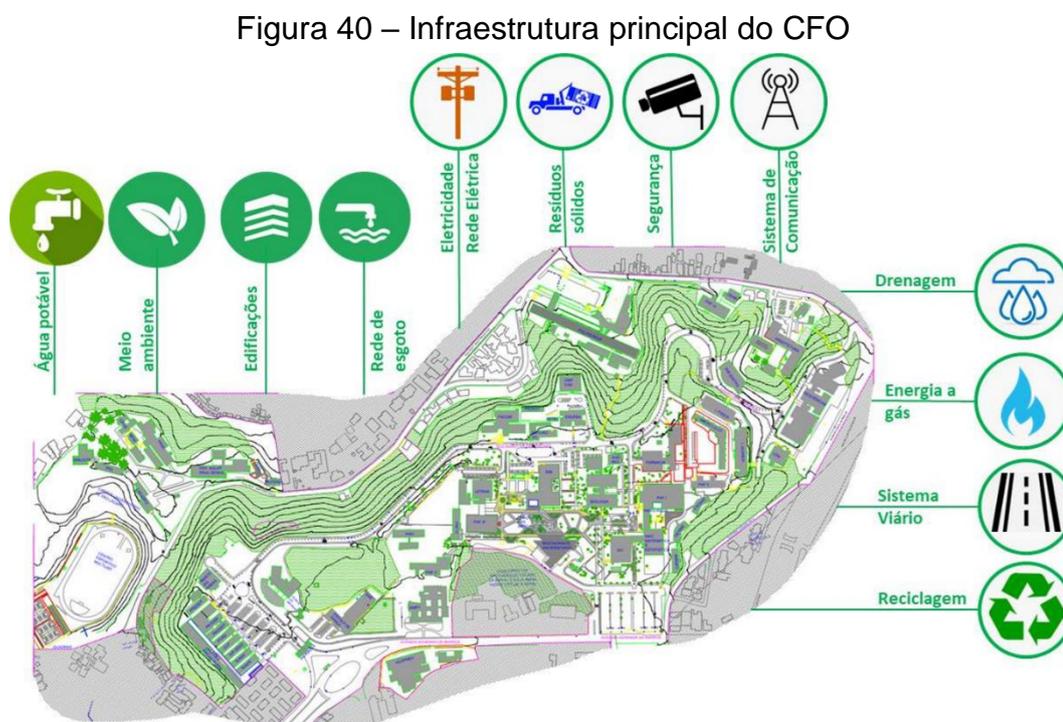
Essa base está associada aos serviços fundamentais, também conhecidos como infraestrutura primária, que são essenciais para o funcionamento da cidade, tais como energia, água, comunicações e transporte. Além disso, as instituições como escolas e hospitais compõem a infraestrutura secundária, fornecendo serviços mais elaborados essenciais ao funcionamento da cidade, como saúde, educação, cultura e segurança. Dessa forma, a infraestrutura urbana pode ser considerada interrelacionada, integrando aspectos comuns de sistemas, ativos físicos e necessidades sociais.

Infraestrutura básica, segundo a Norma Brasileira sobre Avaliação de bens – Parte 2: Imóveis urbanos (NBR 14653-2, 2011), são equipamentos urbanos de vias de acesso, escoamento das águas pluviais, redes de esgoto sanitário, de abastecimento de água potável, de iluminação pública, de energia elétrica pública e domiciliar e o sistema de telecomunicação.

A infraestrutura urbana pode ser descrita como um conjunto de subsistemas que, quando operam de forma integrada ou mesmo de maneira independente, buscam atender às necessidades da população urbana (Silva, 2014).

A infraestrutura física da UFBA é composta de um parque de edifícios e instalações que remontam ao século XX⁶⁰, anos 1970 e construções mais recentes. Essa realidade traz alguns problemas de manutenção, o que acarreta problemas de custeio. É possível notar uma certa dinâmica no uso dos espaços, pois constantemente são adequados ao uso de acordo a nova demanda, principalmente os espaços para atividades de pesquisa (UFBA, 2017b).

Quanto à classificação dos Sistemas de Infraestrutura da UFBA, a infraestrutura do Campus Federação Ondina (Figura 40) está organizada em sistemas descritos por disciplina. Vale ressaltar que existe interdependência entre alguns sistemas, pois muitas vezes compartilham o mesmo espaço e os mesmos elementos (por exemplo os postes que conduzem o sistema de energia elétrica e de comunicação e o sistema viário que também atende ao sistema de drenagem pluvial). É importante destacar as diferentes classificações quanto à sua localização (nível aéreo, nível da superfície do terreno e nível subterrâneo):



Fonte: Elaborado pela autora.

⁶⁰ Período marcado por um contexto histórico de significativos acontecimentos no Brasil, como a ditadura militar e a Reforma Universitária de 1969. Para a UFBA foi uma fase de configuração dos *campi* da instituição, em que foram construídas edificações que seguiam a vertente da arquitetura em destaque na Bahia e outros estados brasileiros, bem como cenário mundial, a arquitetura do concreto armado, posteriormente denominada “Brutalista” (Nery *et al.*, 2016).

Dentre os sistemas de infraestrutura que integram uma cidade, na UFBA pode-se destacar:

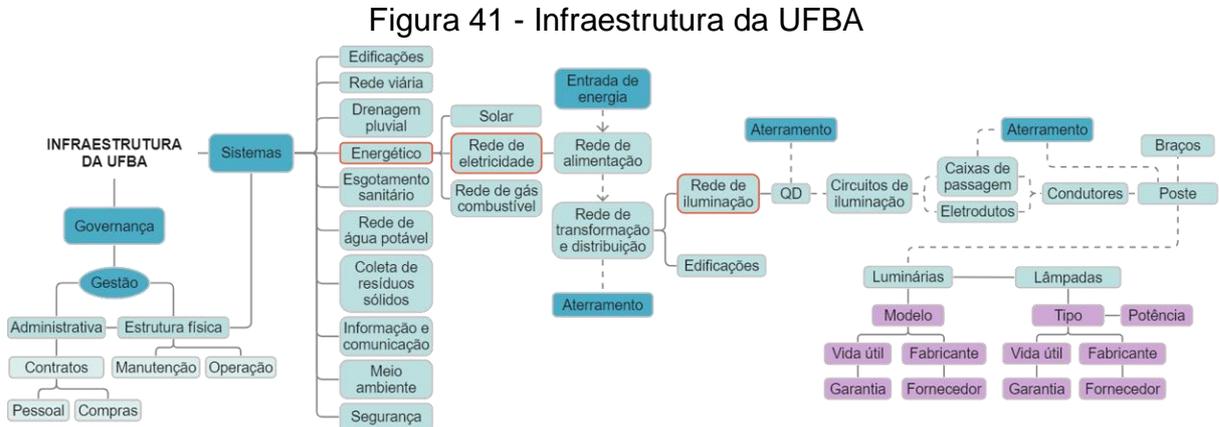
- Edificações, equipamentos e instalações;
- Rede viária;
- Sistema de drenagem pluvial;
- Sistema de esgotamento sanitário;
- Sistema de abastecimento de água potável;
- Sistema de coleta de resíduos sólidos;
- Sistema energético;
- Sistema de telecomunicação, e
- Meio ambiente.

Esta pesquisa trata do desenvolvimento de um modelo operacional para o sistema de iluminação pública do CFO composta por elementos como cabeamento, eletrodutos, caixa de passagem, postes, luminárias e subestações. Desta forma, esta seção dará destaque à infraestrutura da rede de eletricidade do Campus Federação Ondina da UFBA.

4.1 SISTEMA ENERGÉTICO

O sistema energético é de extrema importância para o funcionamento da sociedade moderna. Ele engloba a geração, distribuição e utilização de energia, abrangendo fontes como a eletricidade, o petróleo, o gás natural, as energias renováveis e muito mais. Esse sistema desempenha um papel fundamental, influenciando desde a economia até o meio ambiente. O sistema de energia é responsável pelo abastecimento de energia para a cidade e pode ser separado em duas redes: a de eletricidade e a de gás (Mascaró; Yoshinaga, 2005, p. 16). A rede de eletricidade fornece energia elétrica para residências, empresas, instituições, indústrias etc., atendendo a diversas necessidades do cotidiano das pessoas. Já a rede de gás desempenha um papel importante no fornecimento de combustível para aquecimento, cocção e outras aplicações industriais. Ambas são essenciais para o funcionamento da cidade, garantindo o bem-estar e desenvolvimento econômico.

A Figura 41 apresenta uma visão esquemática da governança e dos sistemas que compõem a infraestrutura da UFBA. No entanto, para atender ao foco do trabalho, a rede de eletricidade será mais detalhada, mais especificamente o sistema de iluminação pública.



Fonte: Elaborado pela autora.

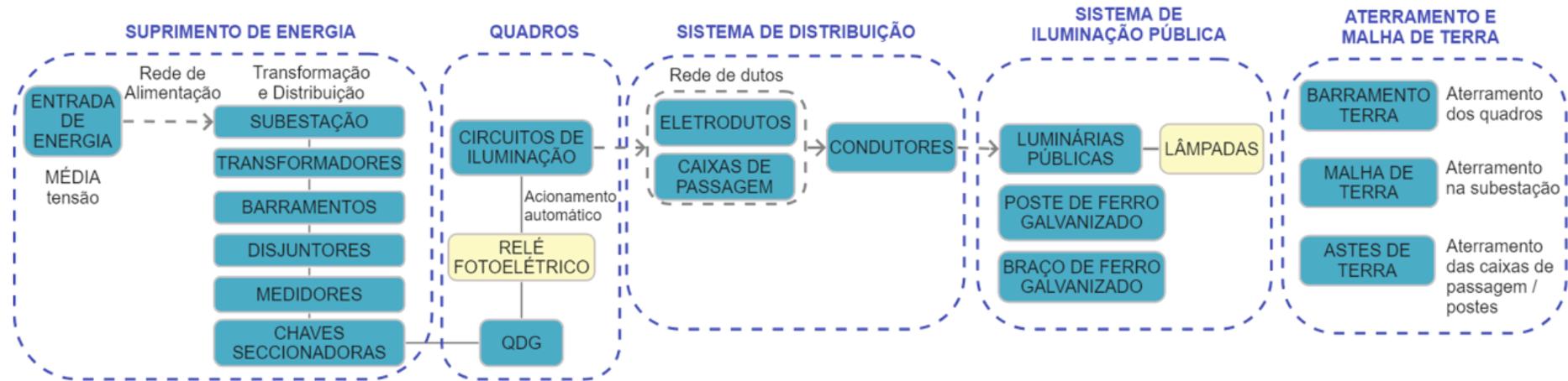
A rede de eletricidade se divide em alimentação e transformação / distribuição. A distribuição, por sua vez, é subdividida em rede de iluminação e o fornecimento de energia elétrica para as edificações. A rede de iluminação engloba quadros de distribuição (QD), circuitos de iluminação, caixas de passagem, eletrodutos, condutores, postes e luminárias. Na Figura 41, em destaque na cor rosa alguns exemplos de informações necessárias para uma aplicação de *facilities*.

Na Figura 42, é possível observar a rede de distribuição da iluminação pública do CFO de forma mais detalhada. Ela abrange o suprimento de energia, os quadros, o sistema de distribuição, o sistema de iluminação pública e os elementos de aterramento e malha de terra.

A seção 4.1.1 oferece uma análise mais detalhada da rede de eletricidade da UFBA. Essa rede de distribuição de energia é composta por anéis interligados, projetados para atender às demandas energéticas da área comum do campus Federação Ondina e dos edifícios que o compõem. O objetivo é assegurar um fornecimento confiável, promovendo eficiência, segurança e escalabilidade.

Figura 42 - Instalações elétricas da iluminação pública do CFO

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DA ILUMINAÇÃO PÚBLICA DO CAMPUS ONDINA FEDERAÇÃO DA UFBA



Fonte: Elaborado pela autora.

4.1.1 Rede de eletricidade

As redes que compõem um sistema elétrico podem ser aéreas ou subterrâneas, sendo esta última solução mais segura, porém a mais cara. Nas áreas urbanas de baixa densidade e nas de pouco poder aquisitivo, a rede elétrica aérea é a solução obrigatória pelo seu menor custo, embora produza poluição visual e apresente menor segurança que a subterrânea (Mascaró; Yoshinaga, 2005).

Segundo os autores, a rede de distribuição se divide em rede primária (abastecimento da rede) e secundária (fornecimento aos usuários). Geralmente a rede primária tem tensão de 1.000 a 13.000 V e a secundária, de 110/220 a 220/380 V.

As redes de distribuição podem estar agrupadas de diferentes formas de combinação, quanto ao:

- Material empregado nas linhas de transmissão – cobre ou alumínio;
- Posicionamento das linhas – aérea ou subterrânea, representando diferentes custos e processos de manutenção;
- Tipo de corrente de transmissão – grandes tensões e grandes distâncias (corrente contínua⁶¹).

Visando a eficiência energética, a Universidade Federal da Bahia vem executando um conjunto de intervenções articuladas e obras de infraestrutura com o objetivo de melhorar o aproveitamento de energia. Dentre elas, a implantação de um sistema de anéis de média tensão, reformas de subestações, redimensionamento de instalações elétricas de algumas unidades e instalação de estruturas para ampliar a iluminação (UFBA, 2017b).

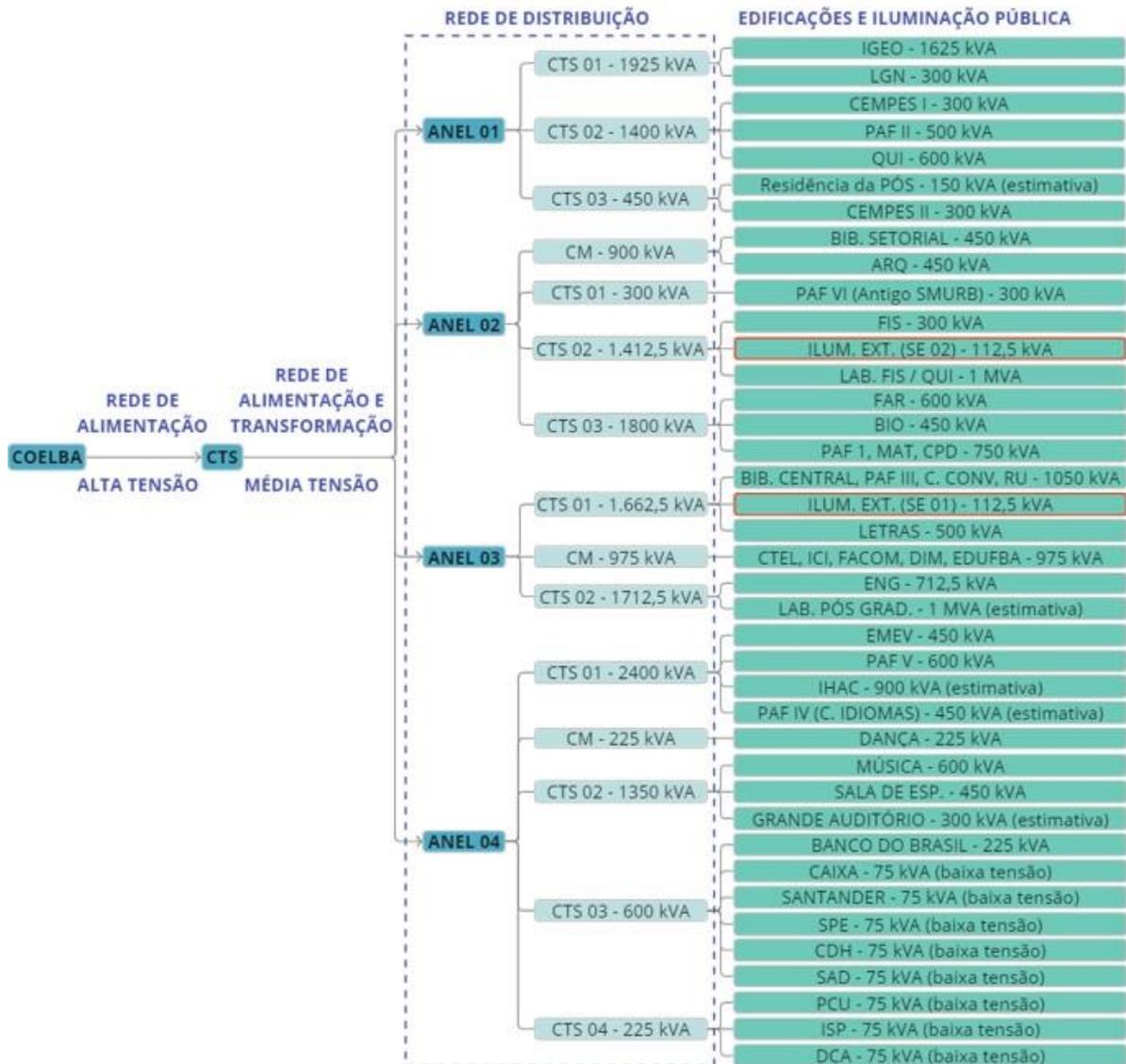
Segundo o relatório da UFBA (2017b), com a construção do sistema de alimentação em anéis, a expectativa do Núcleo de Manutenção Elétrica e Eficiência Energética da SUMAI era reduzir os frequentes episódios de falta ou queda de energia em algumas unidades situadas no Campus Federação Ondina, cuja rede de distribuição ainda era

⁶¹ *High Voltage Direct Current* (HVDC) que significa corrente contínua de alta tensão são uma alternativa para a transmissão de grandes blocos de energia (acima de 1500 MW) a longas distâncias (acima de 1000 km). Disponível em: [wikipedia.org/wiki/Corrente_contínua_em_alta_tensão](https://pt.wikipedia.org/wiki/Corrente_cont%C3%ADnua_em_alta_tens%C3%A3o). Acesso em: 27 out. 2022.

da década de 1970, já bastante deficiente, visto que a capacidade de suprimento de carga operava no limite máximo.

A Figura 43 apresenta a rede de alimentação, transformação e distribuição de energia elétrica no CFO da UFBA. O fornecimento de energia é realizado pela Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia (COELBA) e distribuído por meio de quatro anéis que alimentam as edificações e a iluminação pública em destaque.

Figura 43 - Sistema de alimentação em anéis



Fonte: Elaborado pela autora.

Conforme a descrição no relatório da UFBA (2017b, p. 201), o sistema de anéis compreende uma rede composta por quatro pontos distintos com dupla alimentação, um na Avenida Caetano Moura – Federação e outro na Avenida Milton Santos – Ondina (UFBA, 2013), o que permite, em caso de falta de energia em uma delas, que a carga seja transferida automaticamente para a outra, minimizando os possíveis danos causados pela falta do fornecimento de energia.

Segundo o departamento de engenharia elétrica da SUMAI, por se tratar de uma rede subterrânea, ela não fica exposta a chuvas ou descargas atmosféricas. Isso evita a necessidade de podas na vegetação e reduz os riscos relacionados a acidentes, como curtos-circuitos causados por galhos de árvores e colisões de automóveis. Dessa forma, proporciona maior segurança à comunidade universitária, além de contribuir para a diminuição da poluição visual, uma vez que reduz o número de postes de concreto, cabos aéreos e transformadores (UFBA, 2013).

Houve também uma preocupação em utilizar materiais e equipamentos ecologicamente corretos, atendendo à legislação ambiental, tais como chave blindada a vácuo e transformador a seco. E a manutenção da rede subterrânea (materiais, equipamentos e mão-de-obra) fica a cargo da concessionária local (COELBA – Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia).

A localização dos pontos de “entrada” (início) e “saída” (final) do sistema de cada anel nos *campi* e unidades da UFBA é a seguinte (UFBA, 2013):

- Anel 1: entrada pelo estacionamento do Centro de Processamento de Dados (CPD), localizado na Rua Prof. Edgar Mata e finalização no Instituto de Geociências, saída pela Av. Caetano Moura - Federação;
- Anel 2: entrada pela portaria do estacionamento do CPD e finalização na Biblioteca Setorial de Exatas, saída pela Av. Caetano Moura - Federação;
- Anel 3: entrada pela Escola de Medicina Veterinária (Av. Milton Santos - Ondina) e finalização na Escola Politécnica, saída pela Av. Caetano Moura - Federação;

- Anel 4: entrada pela portaria principal do Campus Ondina ao lado da SUMAI e finalização na Escola de Medicina Veterinária, saída pela Av. Milton Santos – Ondina.

A Figura 44 mostra a rede de iluminação pública do CFO, com cabeamento subterrâneo, resultando em postes visualmente mais limpos e, ao mesmo tempo, proporcionando maior segurança para os universitários e prestadores de serviços.

Figura 44 – Exemplo de poste do sistema de iluminação pública da UFBA



Fonte: UFBA (2013).

Quanto à finalidade de uso, a iluminação do trecho estudado no CFO é destinada à iluminação das vias e calçadas. De acordo com Houer (2022), a distinção dos pontos de iluminação pública é imprescindível, uma vez que diferentes soluções de modernização geralmente são estudadas de acordo ao uso final.

A identificação e localização dos postes de iluminação pública são imprescindíveis para a realização de inúmeros serviços da área de manutenção ou eficiência energética. Como exemplo, foi possível acessar o levantamento que a COELBA realizou para propor a substituição das lâmpadas de vapor metálico para LED, com o objetivo de reduzir o consumo de energia elétrica. Conforme estudo realizado por

Cavalcanti Filho, Silva e Leal (2021), a iluminação LED é a tecnologia mais apropriada, no momento, para a redução de gastos e a preservação do meio ambiente.

O Quadro 13 exibe dados de um trecho da rede do CFO, do levantamento realizado pela COELBA em 2021, mostrando a identificação (ID) de cada poste, a potência da lâmpada de vapor metálico, a localização dos postes com suas coordenadas de latitude e longitude, a altura dos postes, as referências, o código da lâmpada em LED a ser substituída e sua potência.

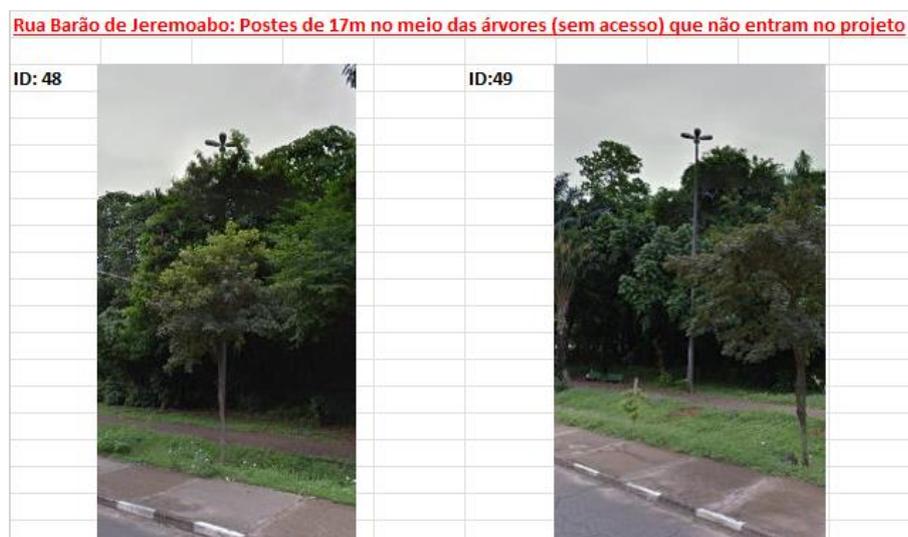
Quadro 13 – Alguns postes do CFO cadastrados pela COELBA, em 2021

Cont.	ID	Potência VM/VS (W)	Referência	Latitude	Longitude	Altura	Projeto Referência	Código da lâmpada LED	Potência LED (W)
40	ID:23	250	Estacionamento SUMAI UFBA	-13,006566	-38,511042	11	Estacionamento - Alt Mont 11 - Poste duplo - CC	DURA V8.3 115W 4K0	117
41	ID:24	250	Estacionamento SUMAI UFBA	-13,006559	-38,510893	11	Estacionamento - Alt Mont 11 - Poste duplo - CC	DURA V8.3 115W 4K0	117
42	ID:25	250	Estacionamento SUMAI UFBA	-13,006577	-38,510741	11	Estacionamento - Alt Mont 11 - Poste duplo - CC	DURA V8.3 115W 4K0	117
43	ID:26	250	Estacionamento SUMAI UFBA	-13,006588	-38,510580	11	Estacionamento - Alt Mont 11 - Poste duplo - CC	DURA V8.3 115W 4K0	117
44	ID:27	250	Rua Barão de Jeremoabo Canteiro Central	-13,006054	-38,510228	11	V1 - CC - Alt Mont11 - LV6 - LP2,5 - V30	DURA V8.3 115W 4K0	117
45	ID:27	250	Rua Barão de Jeremoabo Canteiro Central	-13,006054	-38,510228	11	V1 - CC - Alt Mont11 - LV6 - LP2,5 - V30	DURA V8.3 115W 4K0	117
46	ID:28	250	Rua Barão de Jeremoabo Canteiro Central	-13,006059	-38,510506	11	V1 - CC - Alt Mont11 - LV6 - LP2,5 - V30	DURA V8.3 115W 4K0	117
47	ID:28	250	Rua Barão de Jeremoabo Canteiro Central	-13,006059	-38,510506	11	V1 - CC - Alt Mont11 - LV6 - LP2,5 - V30	DURA V8.3 115W 4K0	117
48	ID:29	150	Rua Barão de Jeremoabo	-13,005965	-38,510491	4	P1 - Uni - Alt Mont 4 - LP2,5 - V20	VITTA V9.3 50W 4K0	54
49	ID:30	150	Rua Barão de Jeremoabo	-13,005954	-38,510642	4	P1 - Uni - Alt Mont 4 - LP2,5 - V20	VITTA V9.3 50W 4K0	54
50	ID:31	150	Rua Barão de Jeremoabo	-13,005990	-38,510808	4	P1 - Uni - Alt Mont 4 - LP2,5 - V20	VITTA V9.3 50W 4K0	54

Fonte: Adaptado da SUMAI (2022).

A Figura 45 apresenta fotos ilustrando a localização de postes que fazem parte do trecho levantado pela COELBA (Quadro 13), com informações necessárias para o desenvolvimento dos estudos propostos para a troca das lâmpadas.

Figura 45 - Postes do CFO



Fonte: SUMAI (2022).

Levantamentos atualizados contendo informações, como os pontos de iluminação pública que registram a localização, o tipo de lâmpada, a potência e uso dos equipamentos, são importantes para auxiliar nas etapas de operação e manutenção de áreas como o CFO.

4.2 REDE DE INFRAESTRUTURA INTEGRADA

Para que as redes de infraestrutura constituam um sistema harmônico, devem ser tratadas como um conjunto de elementos articulados entre si e com o meio ao qual estão associadas. No entanto, a desarticulação entre as concessionárias geralmente leva a uma desordem do subsolo urbano e efeitos estéticos e urbanísticos desagradáveis. Isso acarreta maiores custos de implantação e operação, além de dificultar as necessárias renovações e ampliações específicas de cada rede. Essa desarticulação ocorre principalmente devido à falta de um cadastro geral que contenha a localização precisa de todas as redes e seus equipamentos complementares. Esse cadastro geral deveria ser atualizado periodicamente por cada concessionária de serviços públicos, de forma a mantê-lo sempre confiável e seguro (Zemitrowicz; Angelis Neto, 1997).

Vale ressaltar que, para atender a uma gestão integrada do sistema de governança de iluminação da universidade, é necessário abranger os sistemas de infraestrutura do meio ambiente, sistema de circulação (viário e pedestres), câmeras de segurança

e refletores instalados nas edificações. A iluminação está diretamente relacionada à segurança e envolve serviços que são realizados rotineiramente em conjunto, como poda de árvores, troca de lâmpadas, revisão de câmeras de segurança e manutenção das áreas de circulação.

Segundo o relatório integrado de gestão do exercício de 2018 (UFBA, 2019), as universidades são instituições complexas que lidam com um grande número de situações próprias, como atribuições na formação de pessoas, produção de conhecimento, tecnologias e interação com a sociedade. A UFBA, como uma das maiores universidades federais do país, enfrenta os desafios inerentes a essas características, incluindo a assistência estudantil e a gestão de servidores e terceirizados, atendendo a uma comunidade de pouco mais de 50 mil pessoas.

5 DESENVOLVIMENTO DO EXPERIMENTO

O espaço urbano é complexo, multifacetado e reflete as constantes transformações da sociedade, necessitando assim de um sistema de gestão que o acompanhe em suas inúmeras variáveis. Para tanto, faz-se necessária a sistematização e ordenamento das informações urbanas para o planejamento e tomada de decisões pertinentes.

Boa parte dos modelos numéricos 3D de cidades encontrados na literatura são representações tridimensionais sobre uma superfície plana. Segundo Beil e Kolbe (2017), muitas aplicações poderiam se beneficiar de modelos detalhados, para uma análise mais aprofundada. No entanto, a maioria das representações de vias é baseada em abstrações lineares, com foco prioritário nas edificações, exceto quando a aplicação está relacionada ao trânsito, que demanda um detalhamento mais minucioso das vias públicas.

Com o objeto de trabalho localizado em uma região com relevo acentuado e por se tratar de um estudo voltado à infraestrutura do *campus* universitário da UFBA, surgiu a necessidade de representar o terreno com o seu relevo. Isso se tornou um dos desafios, uma vez que o relevo interfere no desenvolvimento de um modelo voltado para a infraestrutura urbana, em que elementos como: o sistema viário com calçadas e meio fio delimitam os espaços onde o sistema de iluminação pública, aqui representada pelos postes de iluminação, eletrodutos com cabeamento, caixas de passagem e subestação, seguem cotas de implantação de acordo ao relevo da região.

Há uma variedade de métodos para a geração de modelos geométricos e semânticos de cidades, cada um com características distintas. É importante ressaltar que o foco da pesquisa reside na criação de um modelo de forma tão automatizada quanto possível. Para a realização dos testes, foi utilizada a plataforma SuperMap como principal ferramenta para a construção do modelo operacional do sistema de iluminação pública do CFO no padrão CityGML, representando a abordagem central do trabalho. Simultaneamente, foi desenvolvida uma aplicação no SuperMap para monitorar o consumo diário individual dos postes de iluminação pública do CFO com a possibilidade de acesso pela *web*.

Em destaque na Figura 26 estão os produtos que foram utilizados durante o desenvolvimento do modelo geométrico e semântico do CFO.

A seção 5.1 apresenta o desenvolvimento do modelo geométrico e semântico do CFO e as etapas de elaboração.

5.1 DESENVOLVIMENTO DO MODELO GEOMÉTRICO E SEMÂNTICO DO CFO

Para realizar os testes de modelagem, foi essencial obter dados referentes ao terreno em análise e ao sistema de iluminação pública do *campus*. Inicialmente, foram reunidos documentos junto à SUMAI, incluindo o levantamento topográfico planialtimétrico georreferenciado realizado em 2010. Esse levantamento proporcionou as coordenadas geográficas necessárias para posicionar o terreno. Neste contexto, foram empregadas as coordenadas do sistema de referência SIRGAS2000⁶² / UTM 24S⁶³.

O experimento teve como objetivo demonstrar o desenvolvimento do modelo no padrão CityGML e avaliar sua viabilidade para ser aplicado nos processos de gestão do sistema de iluminação pública do CFO⁶⁴ da UFBA. Isso se deve ao fato de que o software SuperMap oferece recursos para área de gestão, auxílio na tomada de decisões e otimização do fluxo de trabalho de conversão do modelo numérico 3D de cidade para o padrão CityGML.

Os produtos que foram utilizados durante o desenvolvimento do modelo geométrico e semântico do CFO estão em destaque na Figura 26.

⁶² SIRGAS2000 - Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas, realizado no ano 2000. Sistema de referência geodésico adotado para representar coordenadas geográficas na América do Sul e América Central. Fornece um quadro de referência comum para a localização precisa de pontos geográficos, amplamente utilizado em sistemas de posicionamento por satélite, cartografia e levantamentos topográficos.

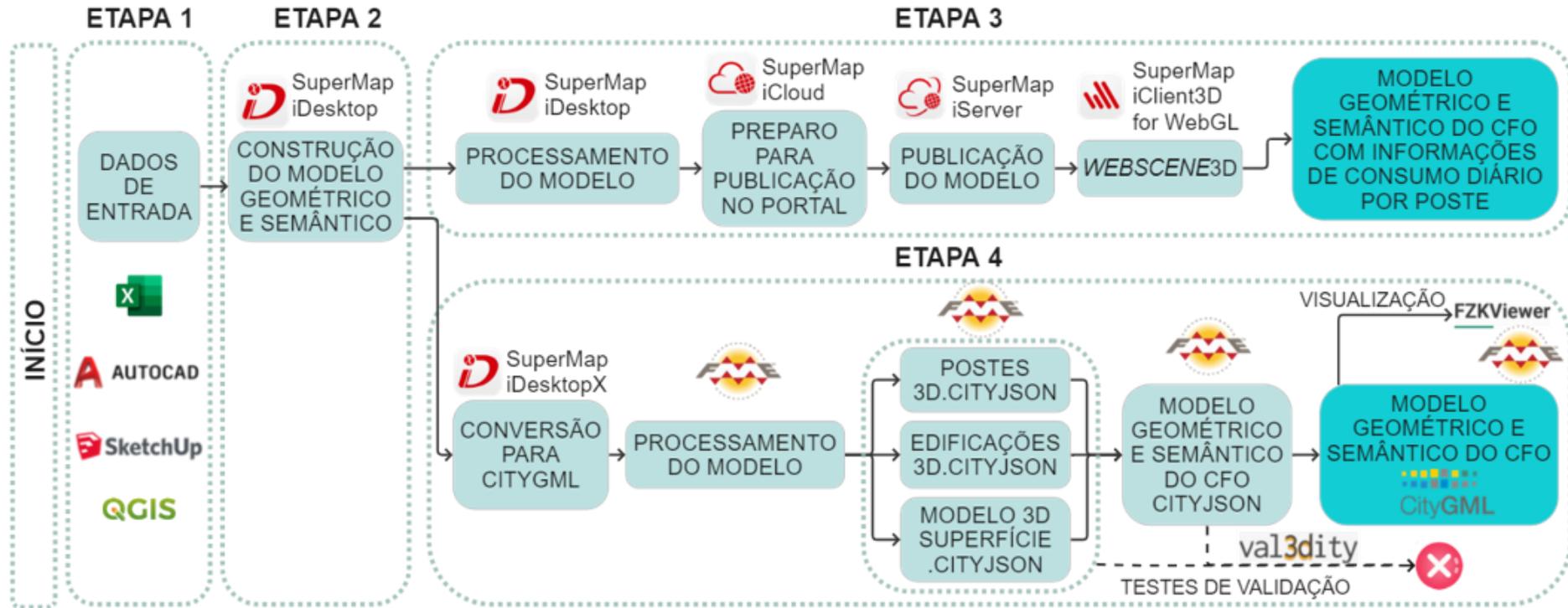
⁶³ UTM 24S (*Universal Transverse Mercator*) – sistema de coordenadas utilizado para representar localizações na superfície terrestre. O 24S refere-se à zona UTM 24S, que é uma das zonas do sistema UTM. Cada zona do UTM cobre uma região específica da Terra e é identificada por um número seguido por uma letra que indica se é no hemisfério norte ou sul. A zona UTM 24S está localizada no hemisfério sul e abrange uma área específica da superfície terrestre.

⁶⁴ Componentes da rede de iluminação pública do CFO representados: 5 tipos de postes de iluminação, caixas de passagem, eletrodutos embutidos no piso e cabeamento. O transformador que atende a área de teste está localizado em frente a FACOM.

5.1.1 Fluxo de trabalho para a construção do modelo CFO

A Figura 46 apresenta o fluxo de trabalho do desenvolvimento do modelo geométrico e semântico de um trecho do CFO da UFBA no software SuperMap. A área de teste foi reduzida (Figura 50) devido à grande quantidade de postes que seriam representados em toda a extensão do *campus*.

Figura 46 - Fluxo de trabalho do experimento



Fonte: Elaborado pela autora.

Esta seção descreve o método utilizado para construir o modelo geométrico e semântico de um trecho do CFO e a Figura 46 apresenta o fluxo de trabalho do Experimento, dividido em quatro etapas:

Primeira etapa: compilação dos dados de entrada, modelagem dos postes e processamento dos dados obtidos no *website* “Mapeamento Cartográfico de Salvador”⁶⁵ da prefeitura de Salvador;

Segunda etapa: construção do modelo geométrico com informação semântica em LOD1, dividido em duas cenas;

Terceira etapa: compilação das informações de consumo de energia diário por poste na cena 1 - modelo geométrico e semântico LOD1, utilizando os recursos do software SuperMap e disponibilização do *link* de acesso a WebScene3D⁶⁶ ou modelo geométrico e semântico do CFO;

Quarta etapa: inserção da semântica e conversão do modelo (Cena 2) no formato CityJson para o padrão CityGML, no software FME Writer. Além disso, foram conduzidos testes de validação e visualização no FME e FZKviewer.

É relevante destacar que a proposta inicial era desenvolver a geometria do modelo antes de inserir a semântica. No entanto, a semântica acabou sendo incorporada em três momentos distintos, distribuídos entre as etapas 2, 3 e 4. Primeiramente, durante o desenvolvimento das duas aplicações (cenas 1 e 2) na etapa 2. Em seguida, devido ao desenvolvimento da aplicação com a cena 1 na etapa 3, com informações sobre o consumo de energia por poste. Posteriormente, na etapa 4, houve a utilização de softwares diferentes, como o SuperMap e o FME, resultando em perda de informações devido à falta de interoperabilidade ao converter os dados do SuperMap em formatos GML e CityJSON.

⁶⁵ Disponível em: <http://mapeamento.salvador.ba.gov.br>. Acesso em: 9 ago. 2022.

⁶⁶ A *WebScene 3D* no SuperMap é uma funcionalidade que permite a criação e visualização de cenas tridimensionais em um ambiente *web*. É utilizada para representar dados geoespaciais em 3D, possibilitando a análise e exploração de informações em um contexto tridimensional.

O objetivo das atividades experimentais deste capítulo é obter da forma mais direta possível um modelo geométrico e semântico do CFO que possa auxiliar em algumas atividades da gestão da iluminação pública. Isso foi possível a partir de informações com descrição das características dos elementos que compõem o sistema de iluminação pública de um trecho do CFO, e informações de consumo unitário dos postes, podendo auxiliar no controle de gastos da Universidade.

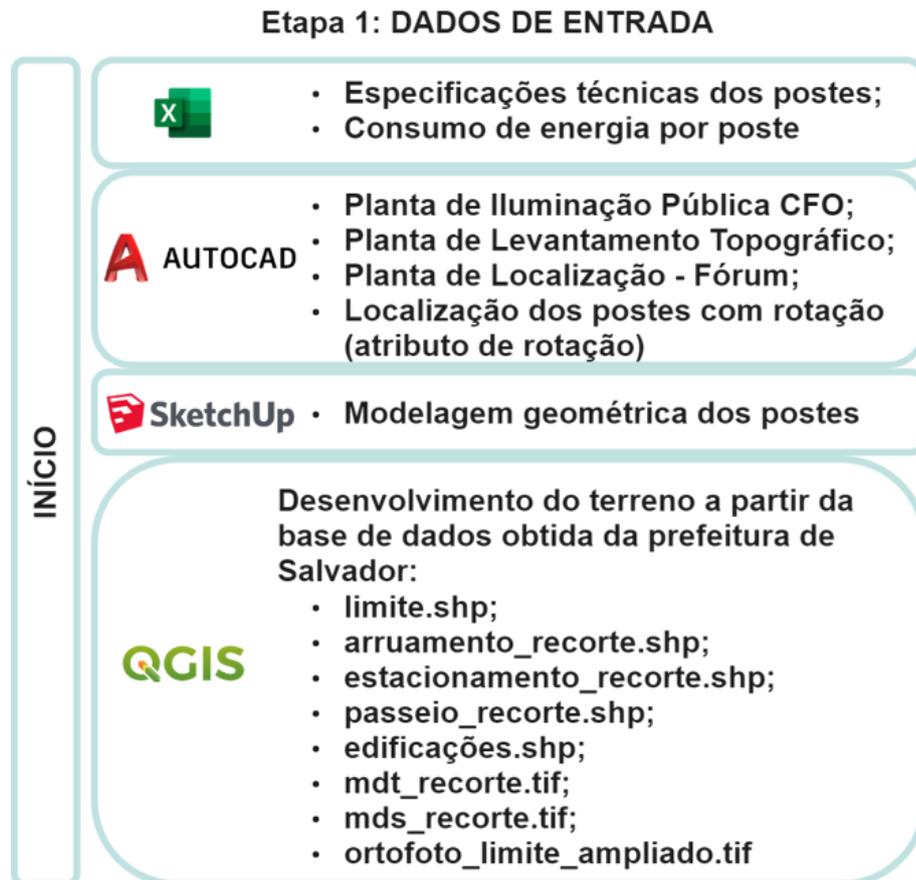
As seções seguintes apresentam cada etapa detalhadamente.

5.1.2 Fluxo de trabalho da Etapa 1

Nessa etapa, realizou-se o levantamento das informações técnicas referentes à geometria e à semântica dos elementos que compõem o sistema de iluminação pública do CFO da UFBA, denominados dados de entrada. No fluxo de trabalho, apresentado na Figura 47, está a compilação de informações utilizadas durante o trabalho.

Os dados levantados na SUMAI foram processados e editados no AutoCAD. Em seguida, no SketchUp, procedeu-se a modelagem dos postes, luminárias e caixas de passagem, enquanto no QGis realizou-se o recorte do trecho a ser trabalhado, resultando na ortofoto do limite, com informações relevantes para a modelagem do terreno e a altura das edificações.

Figura 47 – Fluxograma da Etapa 1



Fonte: Elaborado pela autora.

Sobre a infraestrutura de iluminação pública do CFO, foram coletadas informações com os funcionários da SUMAI, realizadas visitas a campo e análise de plantas e documentos. Essas ações possibilitaram iniciar a modelagem dos componentes da infraestrutura de iluminação pública do CFO: postes compostos por “braços” e luminárias, fixados em um bloco de concreto (detalhe da fixação na Figura 49); caixas de passagem; eletrodutos embutidos no piso com os condutores de eletricidade e as respectivas fases: A, B, C e Neutro e a subestação SE-1, que atende aos circuitos representados no experimento, localizada em frente a FACOM.

Os componentes da iluminação pública do CFO foram modelados com base em uma série de informações obtidas de projetos de iluminação pública do Campus Federação Ondina. A Figura 48 exibe a legenda que contém as especificações dos postes, luminárias, caixas, eletrodutos e circuitos.

Figura 48 - Especificações de componentes do sistema de iluminação pública

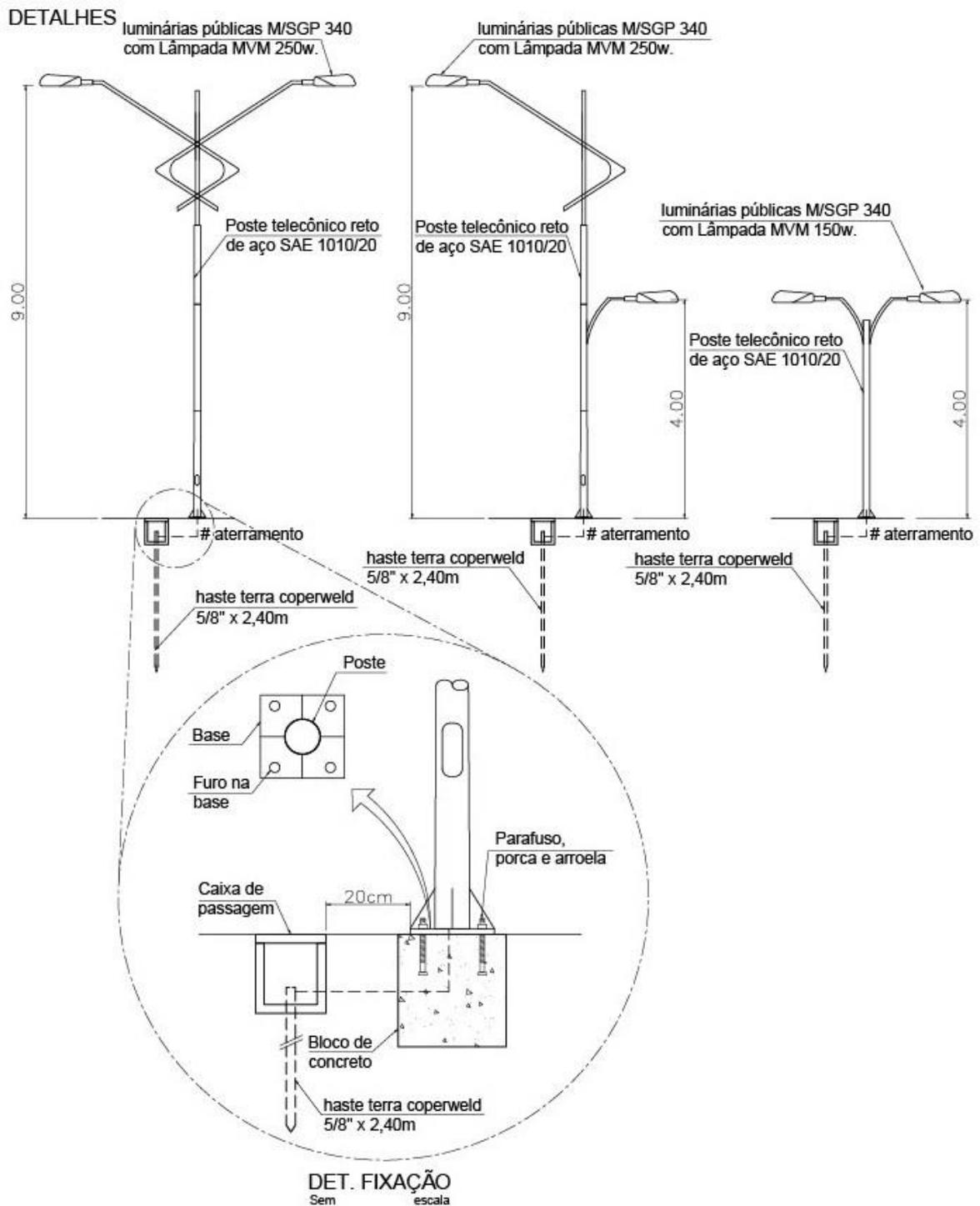
LEGENDA:

	P1-Poste telecônico reto, produzidos em tubos de aço SAE 1010/20, acabamento zincado a fogo; Base flangeada, fixada através de chumbadores, porcas e arruelas, pintado na cor azul,h=9,000m util,com 01 luminária pública Philips M/SGP 340 a altura de 9,00m(iluminação de via),com lâmpada MVM 250 reator incorporado,01 braço simples com 2,00m ILSCDBO-74,fabricação Ilumatic e 01 luminaria decorativa Philips M/SGP 340 a altura de 4,00m(iluminação de passeio), com Lâmpada MVM 150w,reator incorporada,01 braço simples com 0,715m tipo ILSCDB-74 D115,fabricação Ilumatic,acionada por relê fotocelula.
	P2-Poste telecônico reto, produzidos em tubos de aço SAE 1010/20, acabamento zincado a fogo; Base flangeada, fixada através de chumbadores, porcas e arruelas, pintado na cor azul,h=9,000m util,com 01 luminária pública Philips M/SGP 340 a altura de 9,00m(iluminação de via),com lâmpada MVM 250 reator incorporado ,01 braço simples com 2,00m ref. ILSCDBO-74,fabricação Ilumatic,acionada por relê fotocelula.
	P3-Poste telecônico reto, produzidos em tubos de aço SAE 1010/20, acabamento zincado a fogo; Base flangeada, fixada através de chumbadores, porcas e arruelas, pintado na cor azul,h=9,000m util,com 02 luminária decorativa Philips M/SGP 340 a altura de 4,00m(iluminação de passeio), com Lâmpada MVM 150w,reator incorporada,01 braço simples com 0,715m ref. ILSCDB-740D115,fabricação Ilumatic,acionada por relê fotocelula.
	P4-Poste telecônico reto, produzidos em tubos de aço SAE 1010/20, acabamento zincado a fogo; Base flangeada, fixada através de chumbadores, porcas e arruelas, pintado na cor azul,h=9,000m util,com 02 luminária pública Philips M/SGP 340 a altura de 9,00m(iluminação de via),com lâmpada MVM 250 reator encorporado ,01 braço duplo com 2,00m ref. ILSCDBO-74,fabricação Ilumatic,acionada por relê fotocelula.
	P5-Poste telecônico reto, produzidos em tubos de aço SAE 1010/20, acabamento zincado a fogo; Base flangeada, fixada através de chumbadores, porcas e arruelas, pintado na cor azul,h=12,000m util,com 04 luminária pública Philips M/SGP 340 (iluminação de via),com lâmpada MVM 250 reator encorporado 02 braço duplo com 0,715m ref. ILSCDB-740D115,fabricação Ilumatic,acionada por relê fotocelula.
	P6-Poste telecônico reto, produzidos em tubos de aço SAE 1010/20, acabamento zincado a fogo; Base flangeada, fixada através de chumbadores, porcas e arruelas, pintado na cor azul,h=4,000m util,com 02 luminária decorativa Philips M/SGP 340 a altura de 4,00m(iluminação de passeio), com Lâmpada MVM 150w,reator incorporada,01 braço duplo com 0,715m ref. ILSCDB-740D115,fabricação Ilumatic,acionada por relê fotocelula.
	CP-1:Caixa de passagem em alvenaria,medindo 0,40x0,40x0,40m fundo permeável e tampa de concreto,0,10m abaixo do piso ou grama. CP-2:Caixa de passagem em alvenaria,medindo 0,60x0,60x0,60m fundo permeável e tampa de concreto,0,10m abaixo do piso ou grama. CP-3:Caixa de passagem em alvenaria,medindo 1,00x1,00x1,00m fundo permeável e tampa de concreto,0,10m abaixo do piso ou grama.
	C2 Eletroduto canaflex,embutido no piso,com condutor ,bitola indicada.
	Luminária P1 C1 AB Fase Descrição da luminaria,circuito e balanceamento de fase.

Fonte: SUMAI (2009).

A Figura 49 apresenta o detalhamento executivo dos postes de iluminação pública do CFO.

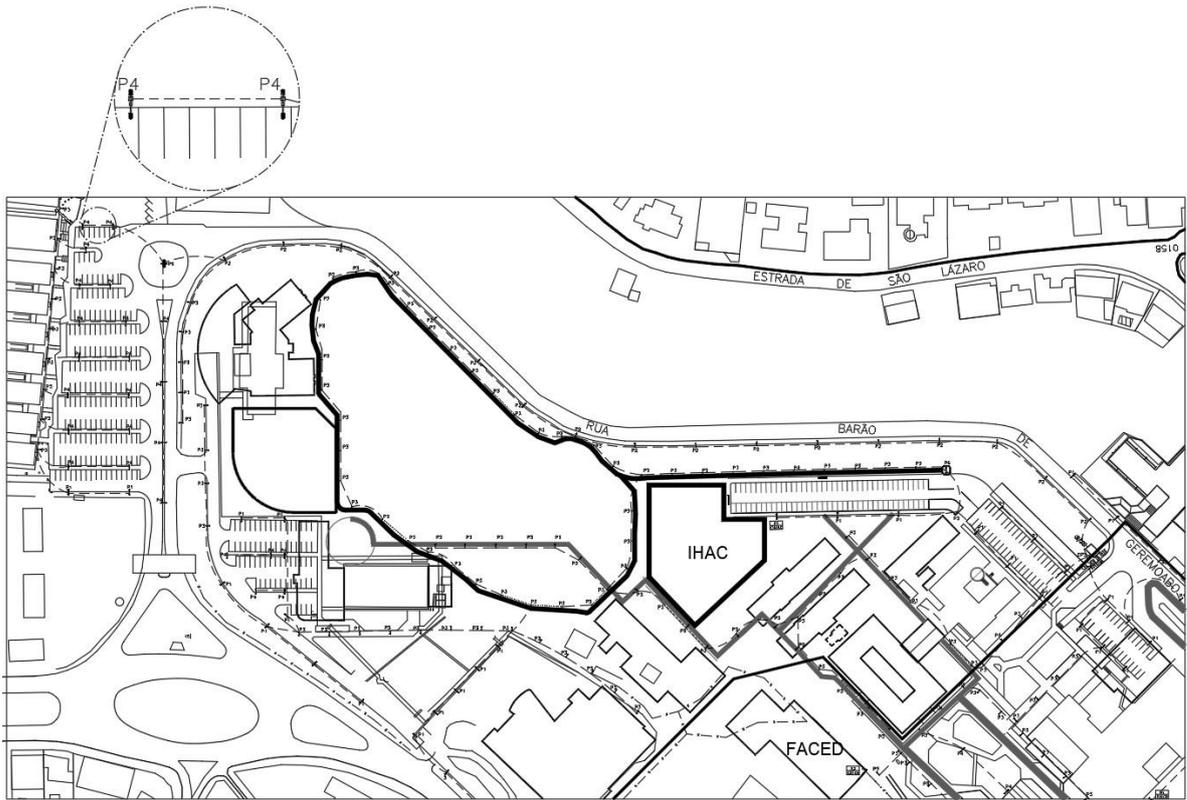
Figura 49 - Projeto de iluminação pública do Campus Federação Ondina (detalhes)



Fonte: SUMAI (2009).

A locação e rotação do eixo dos postes, em relação ao sistema viário, foi desenvolvida com auxílio da planta de distribuição e planta baixa, situação e localização dos postes no CFO. A Figura 50 apresenta um trecho do projeto elétrico.

Figura 50 - Distribuição dos postes de um trecho do CFO



Fonte: SUMAI (2009).

O Quadro 14 apresenta as especificações técnicas dos postes e luminárias, relevantes em aplicações de manutenção e operação do espaço construído.

Quadro 14 - Poste telecônico reto⁶⁷

POSTE TELECÔNICO RETO																						
Cód.	Imagem	Mat.	Acabam.	Fixação	H (m)	LUMINÁRIA 01						LUMINÁRIA 02										
						Quant.	Tipo	Medida (m)	Quant.	Tipo	H (m)	Uso	Lâmp.	Acionam.	Quant.	Tipo	Medida (m)	Quant.	Tipo	H (m)	Uso	Lâmp.
P1		aço SAE 1010/20	Zincado a fogo (GF), Pintura na cor Azul	Flangeado	9,00	1,00	ILSCDB-74	2,00	1,00	Philips M/SGP 340	9,00	Viária	MVM 250w	rellê fotoelúla	1,00	ILSCDB-74	0,715	1,00	Philips M/SGP	4,00	Passeio	MVM 150w
P2					9,00	1,00	ILSCDB-74	2,00	1,00		9,00	Viária										
P3					4,00	1,00	ILSCDB-740D115	0,715	2,00		4,00	Passeio										
P4					9,00	01 duplo	ILSCDB-74	2,00	2,00		9,00	Viária										
P5					12,00	02 duplos	ILSCDB-740D115	0,715	4,00		12,00	Viária										
P6					4,00	01 duplo	ILSCDB-740D115	0,715	2,00		4,00	Passeio										

Fonte: Elaborado pela autora.

Os postes do detalhamento do projeto de iluminação pública do CFO não estavam identificados, desta forma, foi preciso localizar na planta de distribuição e comparar

⁶⁷ Os postes telecônicos são feitos de tubos de aço e galvanizado a fogo, produzidos em seções cilíndricas de diâmetros variados, conificados com reforço e unidos por solda, com o objetivo de suportar diversas cargas e velocidades de vento. Disponível em: <https://www.ibilux.com.br/blog/o-que-sao-postes-teleconicos/>. Acesso em: 17 abr. 2023.

com as imagens do Google Earth: Street View⁶⁸. A Figura 51 exemplifica a comparação entre o existente e o projeto.

Figura 51 – P04_Google Earth/Street view x Projeto Distribuição de postes CFO

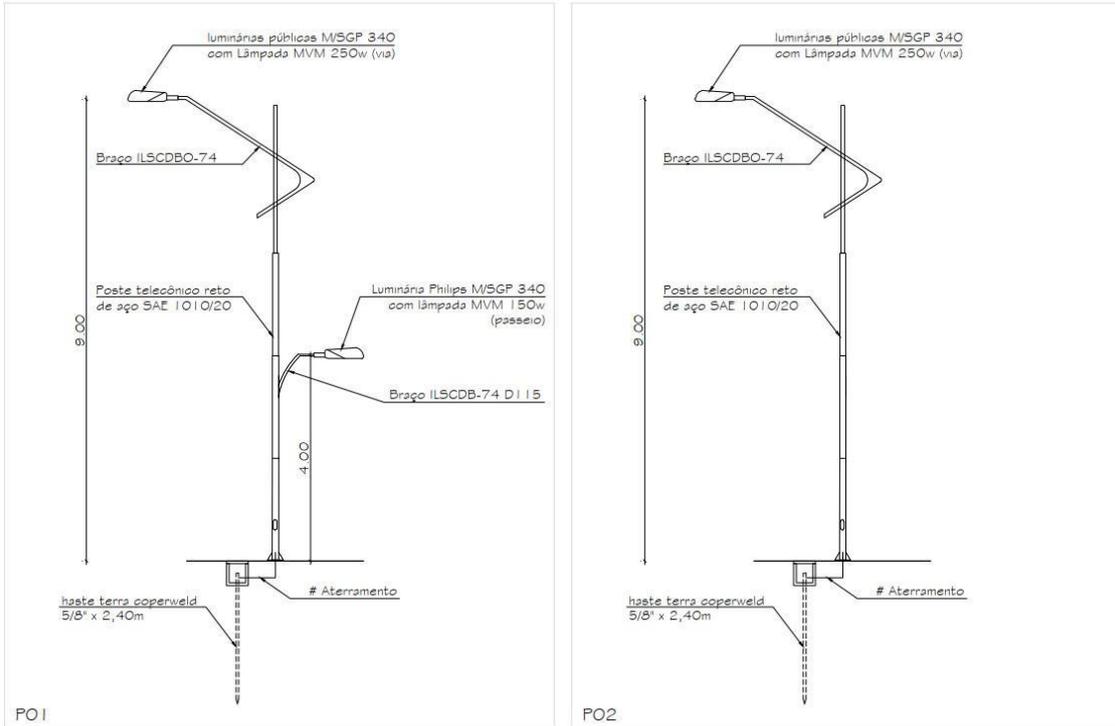


Fonte: Elaborado pela autora.

O projeto de iluminação pública não apresentava todos os postes detalhados, eram informações gerais que foram compiladas mediante ajustes realizados no AutoCAD de acordo com imagens do Google Earth (Google Street View). A Figura 52 apresenta o detalhamento dos postes 1 e 2.

⁶⁸ <https://earth.google.com/web/search/campus+ondina/@-13.00562691,-38.51143681,16.40561867a,0d,48.79510387y,189.71012007h,98.38584729t,0r/data=CigiJgokCUJySv-fYDRAEUJySv-fYDTAGeK24-bj-jdAIR1tkjcyf1PAIhoKFkhHVGRrczlIMMjl5X01yaE9QqN5cEEQAg>.

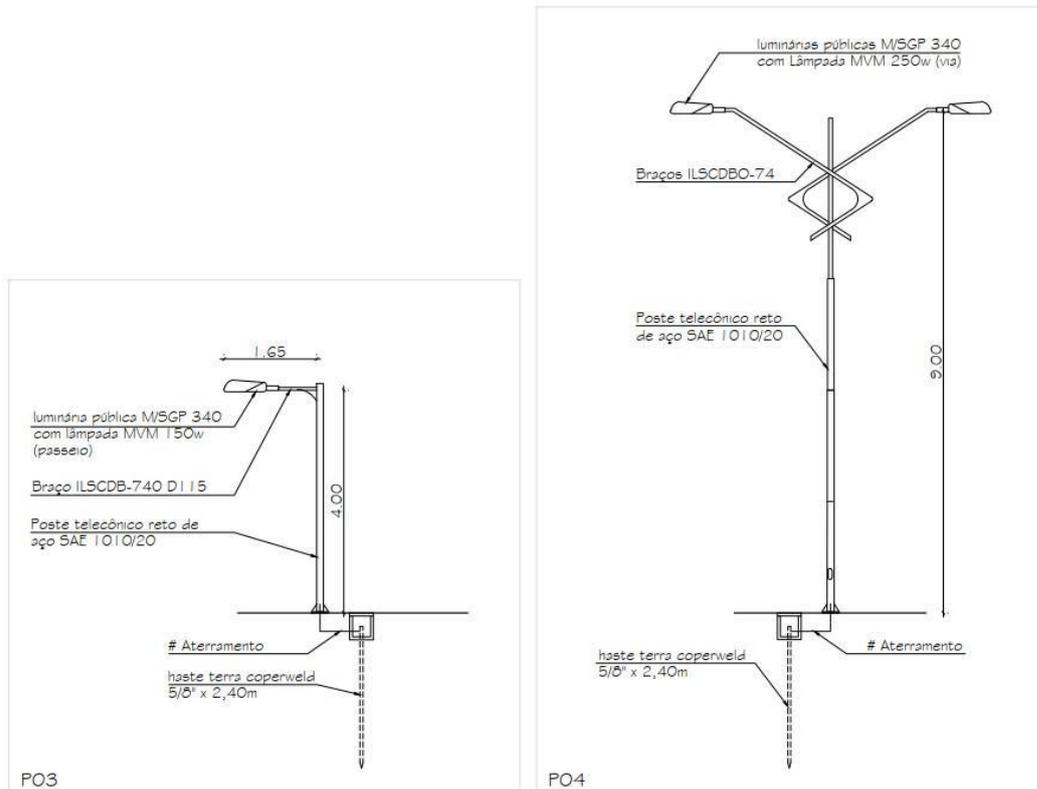
Figura 52 - Postes 1 e 2 no AutoCAD



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 53 apresenta o detalhamento dos postes 3 e 4 no AutoCAD.

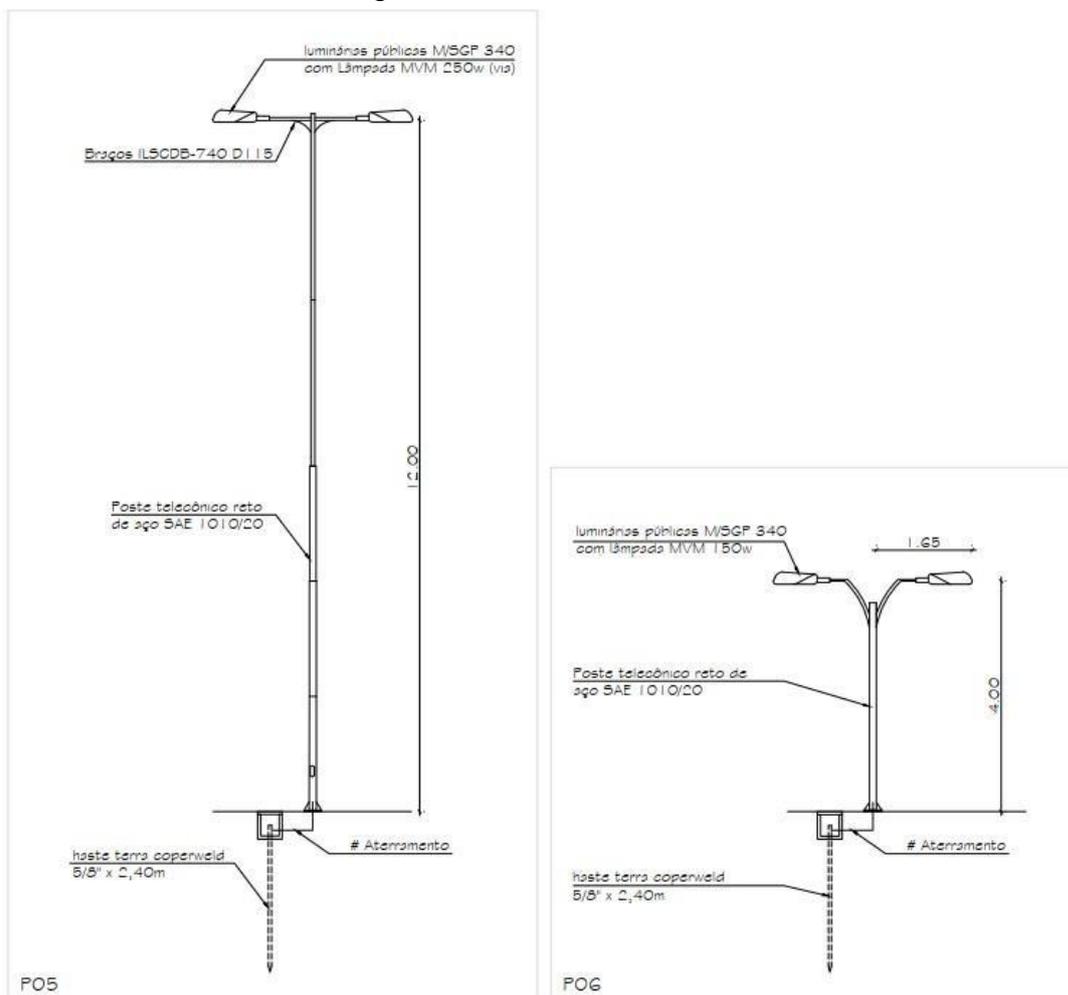
Figura 53 - Postes 3 e 4 no AutoCAD



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 54 apresenta o detalhamento dos postes 5 e 6 desenvolvidos no AutoCAD.

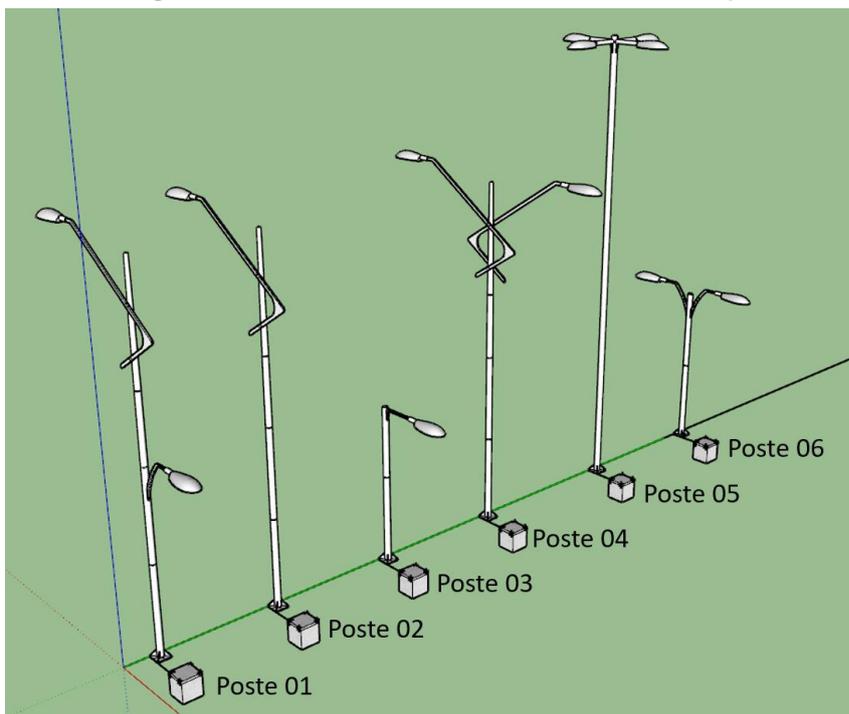
Figura 54 - Postes 5 e 6 no AutoCAD



Fonte: Elaborado pela autora.

Com as informações compiladas, foi dado prosseguimento à modelagem geométrica dos postes conforme apresenta a Figura 55, priorizando um modelo realístico.

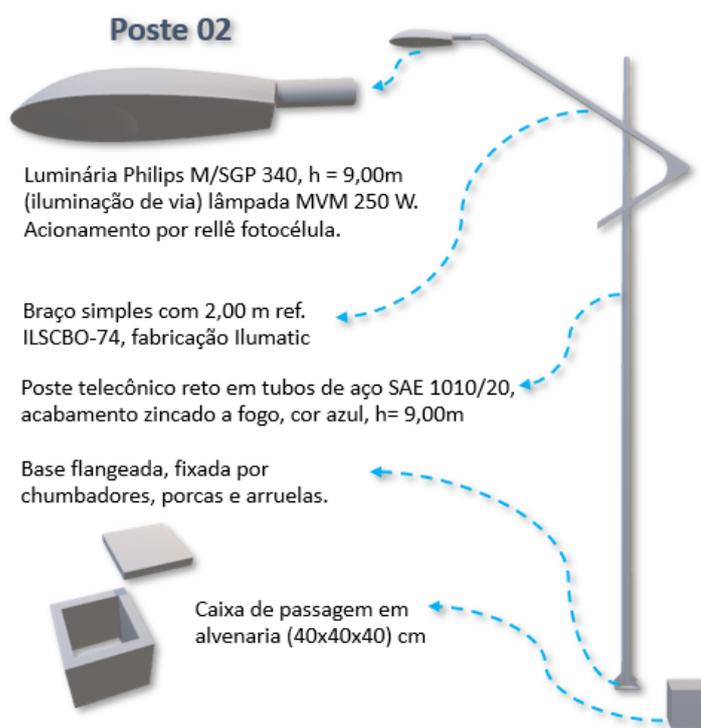
Figura 55 - Postes modelados no SketchUp



Fonte: Elaborado pela autora.

As informações semânticas dos postes foram compiladas e organizadas conforme apresentação esquemática exemplificada pelo poste 2 na Figura 56.

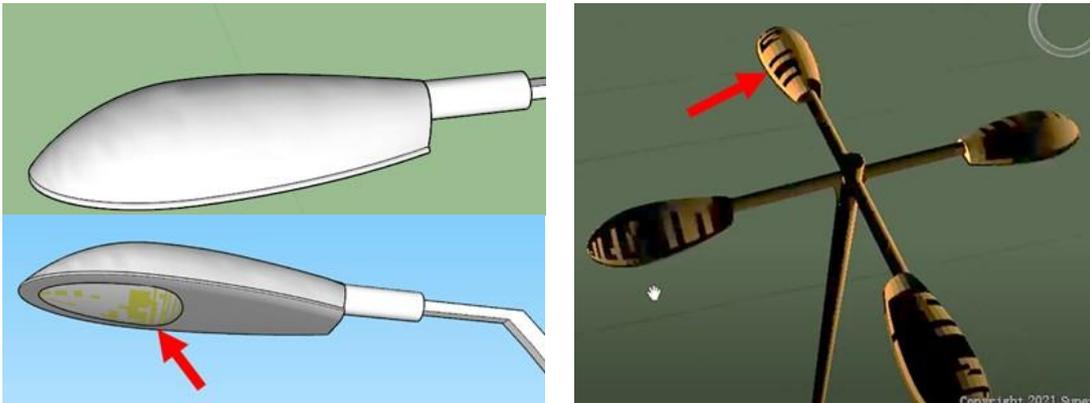
Figura 56 – Informações semânticas associadas aos postes



Fonte: Elaborado pela autora.

É fundamental estar atento aos requisitos geométricos para evitar erros na modelagem do SketchUp, o que inclui garantir que as linhas e faces estejam corretamente conectadas, evitando linhas sobrepostas ou desconectadas que possam causar problemas de geometria. Além disso, as faces não planares podem levar a problemas na modelagem geométrica e na renderização. A Figura 57 apresenta detalhes da luminária no SketchUp à esquerda e as luminárias do poste 5 no SuperMap, à direita.

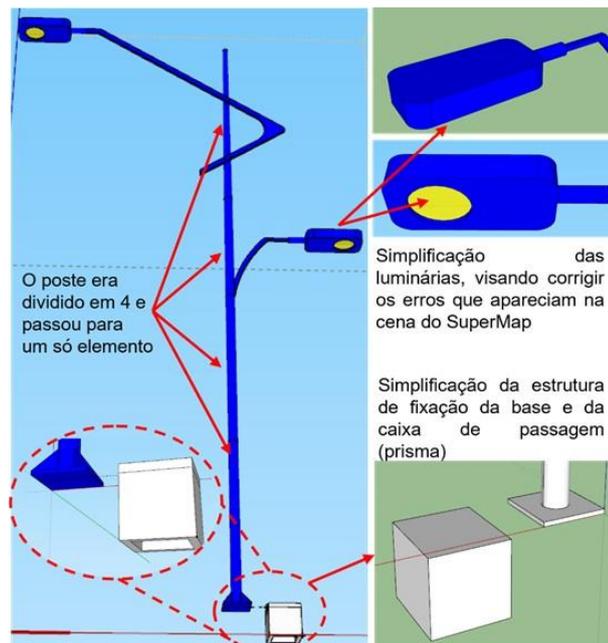
Figura 57 - Imperfeições da modelagem inicial dos postes



Fonte: Elaborado pela autora.

Dessa forma, foi preciso simplificar a geometria dos postes no SketchUp e, em seguida exportá-la para o SuperMap, como ilustrado na Figura 58.

Figura 58 - Simplificação dos postes e caixas de passagem



Fonte: Elaborado pela autora.

Os valores de altura das edificações foram calculados com base na diferença entre as altitudes do MDT e do MDS da área estudada, sendo salvos no formato ESRI Shapefile⁶⁹. Os dados necessários foram obtidos da nuvem de pontos a laser de Salvador, disponibilizados pela prefeitura.

Na Figura 59, são apresentados os itens selecionados em Classes Base do Mapeamento Topográfico em Grandes Escalas (CBGE)⁷⁰, incluindo estacionamento, meio-fio, passeio, trecho do arruamento e as edificações. Posteriormente, esses arquivos foram manipulados na ferramenta QGis, sendo recortados e ajustados ao trecho a ser trabalhado.

Figura 59 - Mapeamento Cartográfico de Salvador



Fonte: Disponível em: <http://mapeamento.salvador.ba.gov.br>. Acesso em: 9 ago. 2022.

As edificações representadas na aplicação foram realizadas a partir de extrusões em prismas simples no LOD1, uma vez que não apresentam aberturas, detalhes de telhados ou texturas. Devido ao foco principal do trabalho estar no sistema de iluminação pública, incluindo postes, luminárias, caixas de passagem, eletrodutos,

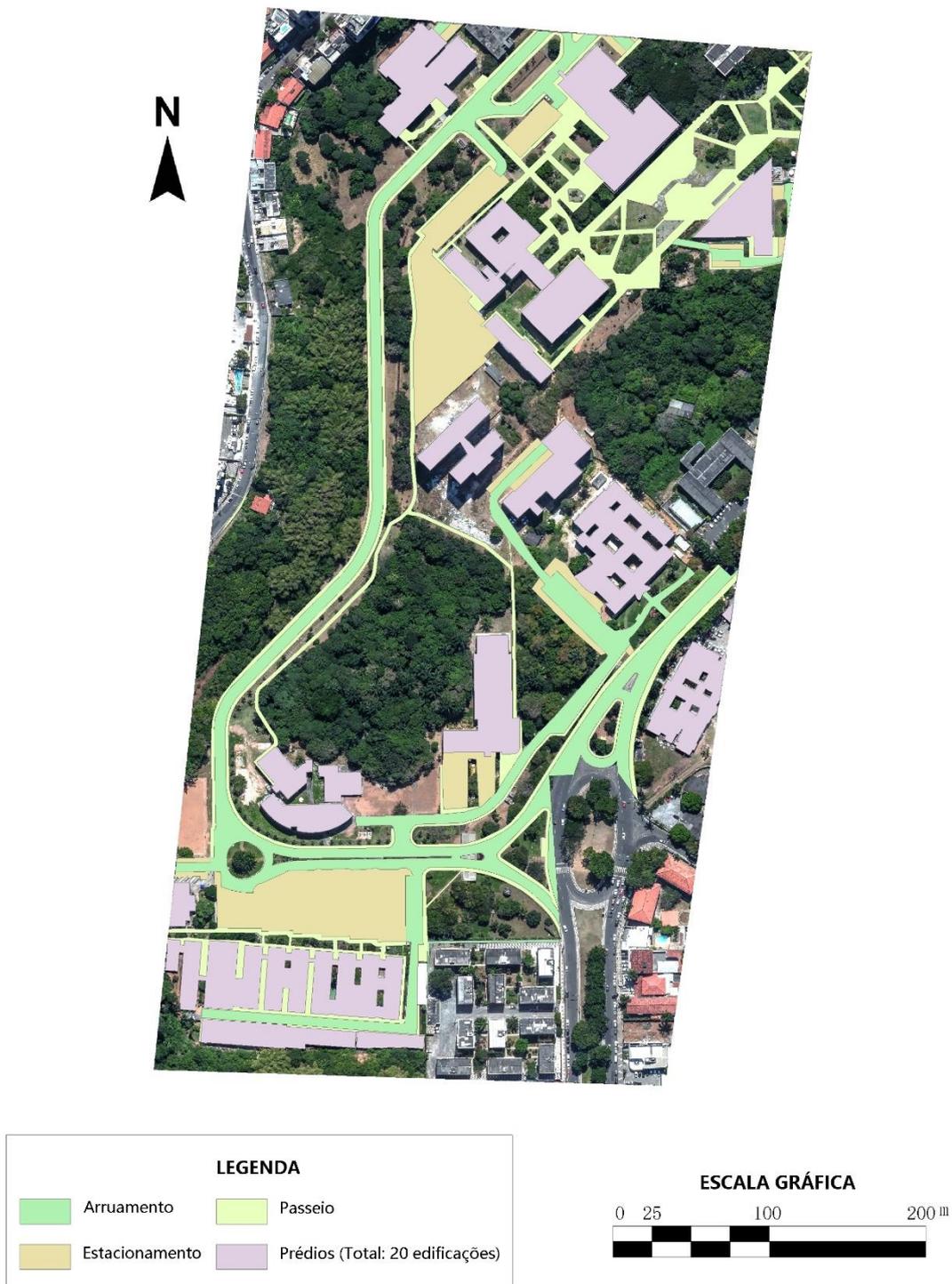
⁶⁹ ESRI Shapefile é um formato de arquivo amplamente utilizado para armazenar dados geoespaciais, como pontos, linhas, polígonos e informações associadas. É composto por múltiplos arquivos que juntos representam um único conjunto de dados geoespaciais. Esses arquivos incluem informações de geometria, atributos e índices espaciais (parte dos arquivos que representam um conjunto de dados geoespaciais, ajudando na organização e recuperação de informações espaciais).

⁷⁰ Dados adquiridos através da técnica de restituição estereofotogramétrica sobre os produtos cartográficos gerados a partir do levantamento aerofotogramétrico realizado entre 19/08/2016 e 13/02/2017.

cabeamento e subestação, as edificações foram integradas ao modelo sem a necessidade de um maior detalhamento.

A área do Campus Federação Ondina, designada para o experimento, foi delimitada perfazendo um total de 228.692,38 m² e um perímetro de 2.033,00 m (Figura 60).

Figura 60 - Visualização da área recortada do CFO, no SuperMap



Fonte: Elaborado pela autora.

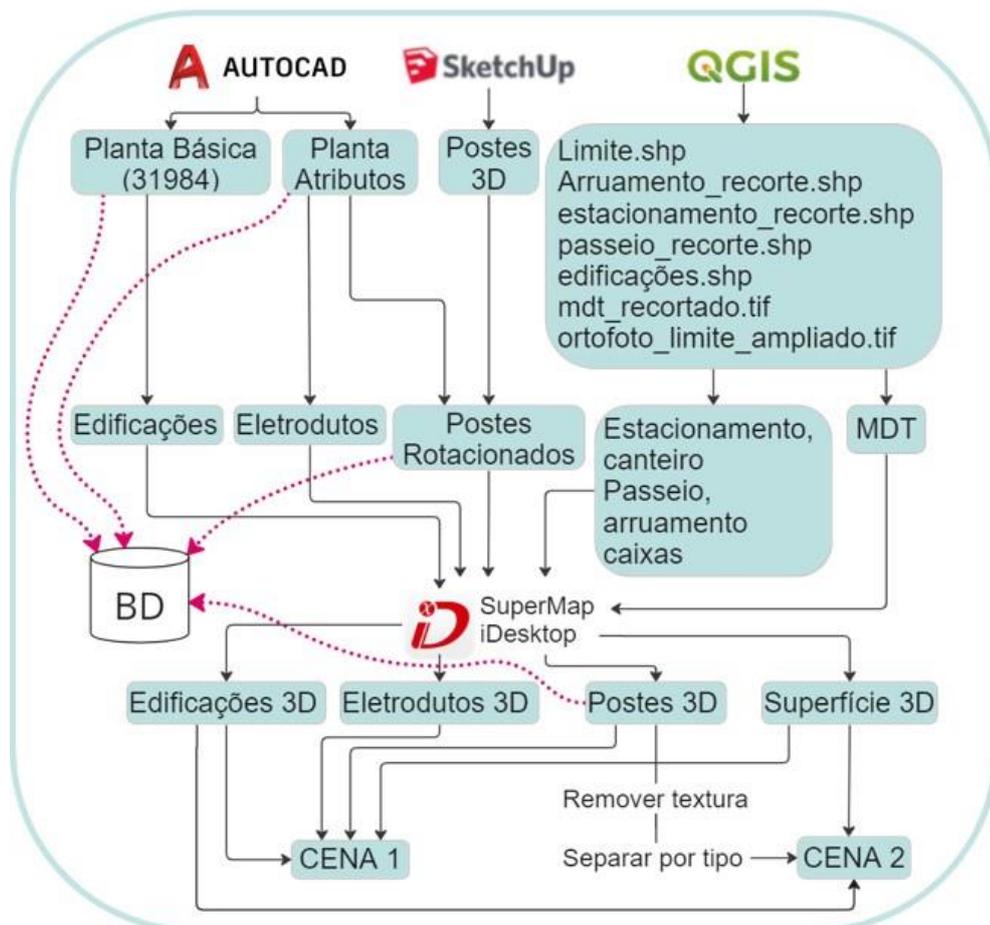
O terreno é representado pelo MDT recortado e a ortofoto é aplicada sobre a superfície do terreno, se moldando ao relevo. A imagem do mundo real representa também as áreas verdes, as ruas, o entorno do *campus* etc. Essa união é possível devido às informações de geolocalização contidas nos formatos empregados estarem orientados no mesmo sistema de coordenadas SIRGAS2000.

5.1.3 Fluxo de trabalho da Etapa 2

Os dados da etapa anterior foram importados para o SuperMap iDesktop, conforme ilustrado na Figura 61, juntamente com os arquivos do AutoCAD (Planta Básica e Planta com atributos) com informações das edificações, eletrodutos e postes com a rotação em relação ao direcionamento da luminária para a via de acesso ou passeios de pedestres e o modelo dos postes elaborados no SketchUp.

Figura 61 – Fluxograma da Etapa 2

Etapa 2: CONSTRUÇÃO DO MODELO GEOMÉTRICO E SEMÂNTICO DO CFO EM LOD1 NO SUPERMAP IDESKTOP

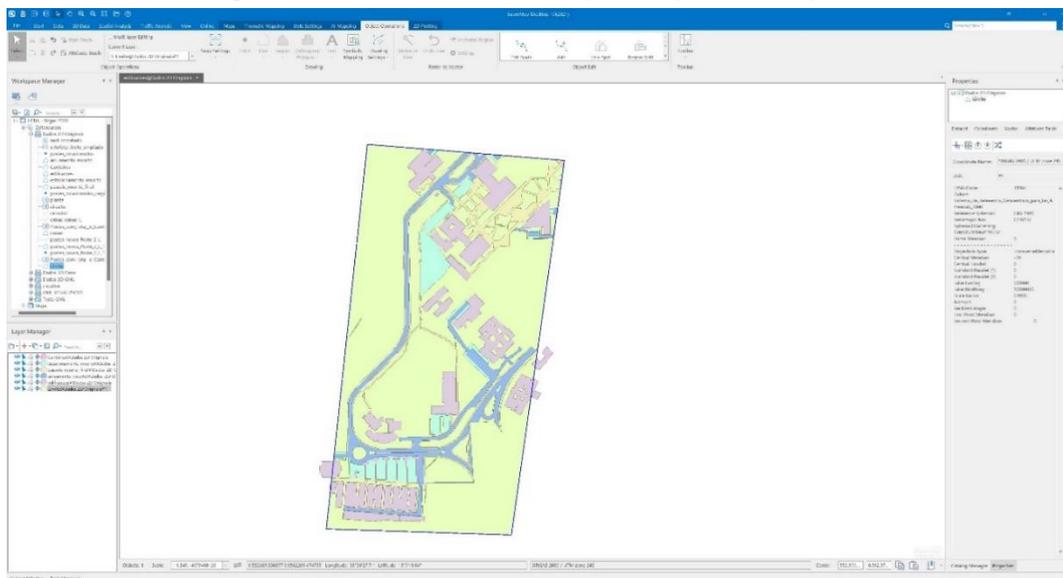


Fonte: Elaborado pela autora.

Durante o desenvolvimento do trabalho foi preciso utilizar as versões de 2021 do SuperMap iDesktop 10i e iDesktopX 10i, pois utilizando apenas a versão iDesktop 10i, não seria possível converter o arquivo em CityGML 2.0 (etapa 4). Tanto o SuperMap iDesktop 10i e iDesktopX 10i, quanto o FME na versão 2022 são compatíveis com o CityGML na versão 2.0.

A Figura 62 apresenta a interface do SuperMap com a inserção das camadas individualmente, para posterior junção.

Figura 62 - Interface do SuperMap iDesktop 10i

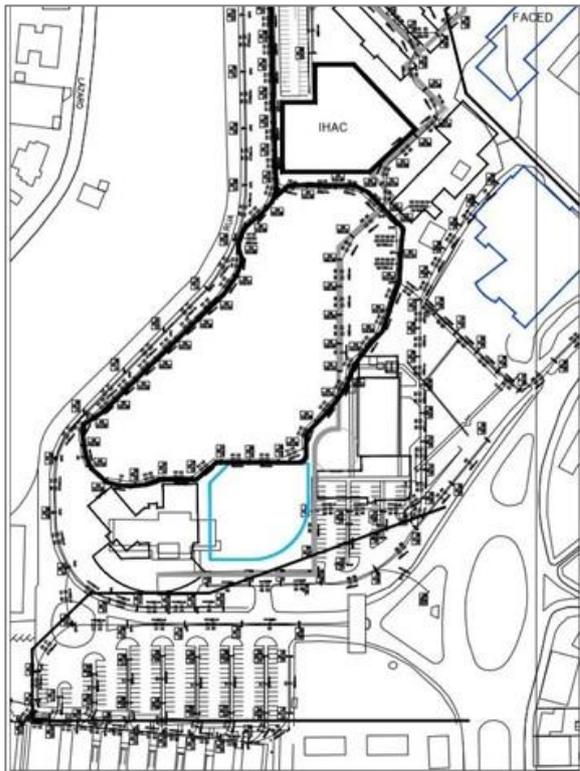


Fonte: Elaborado pela autora.

Foi necessário realizar alguns ajustes e adaptações nas plantas, pois as informações foram consultadas em plantas de períodos, escalas e disciplinas distintas, como projeto de iluminação pública, de urbanismo e de topografia: planta de iluminação pública elaborada em 2009 (Figura 63a), planta de levantamento topográfico elaborada em 2010 (Figura 63b), a planta do Fórum Social Mundial realizado em 2018 (Figura 63c) e a imagem de satélite disponibilizada pelo Google Earth, em 2022 (Figura 63d).

Figura 63 – Comparativo: plantas e imagem do Google Earth em épocas diferentes

(a) Iluminação Campus Federação



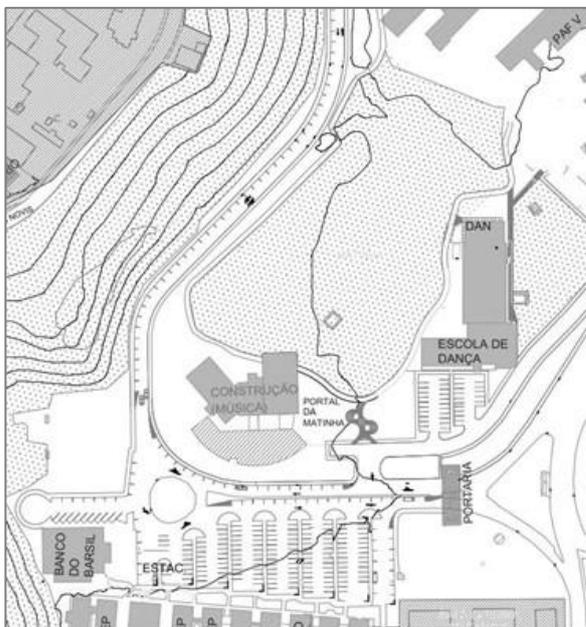
Fonte: SUMAI (2009).

(b) Levantamento Topográfico



Fonte: SUMAI (2010).

(c) Planta de Localização 01



Fonte: SUMAI (2018).

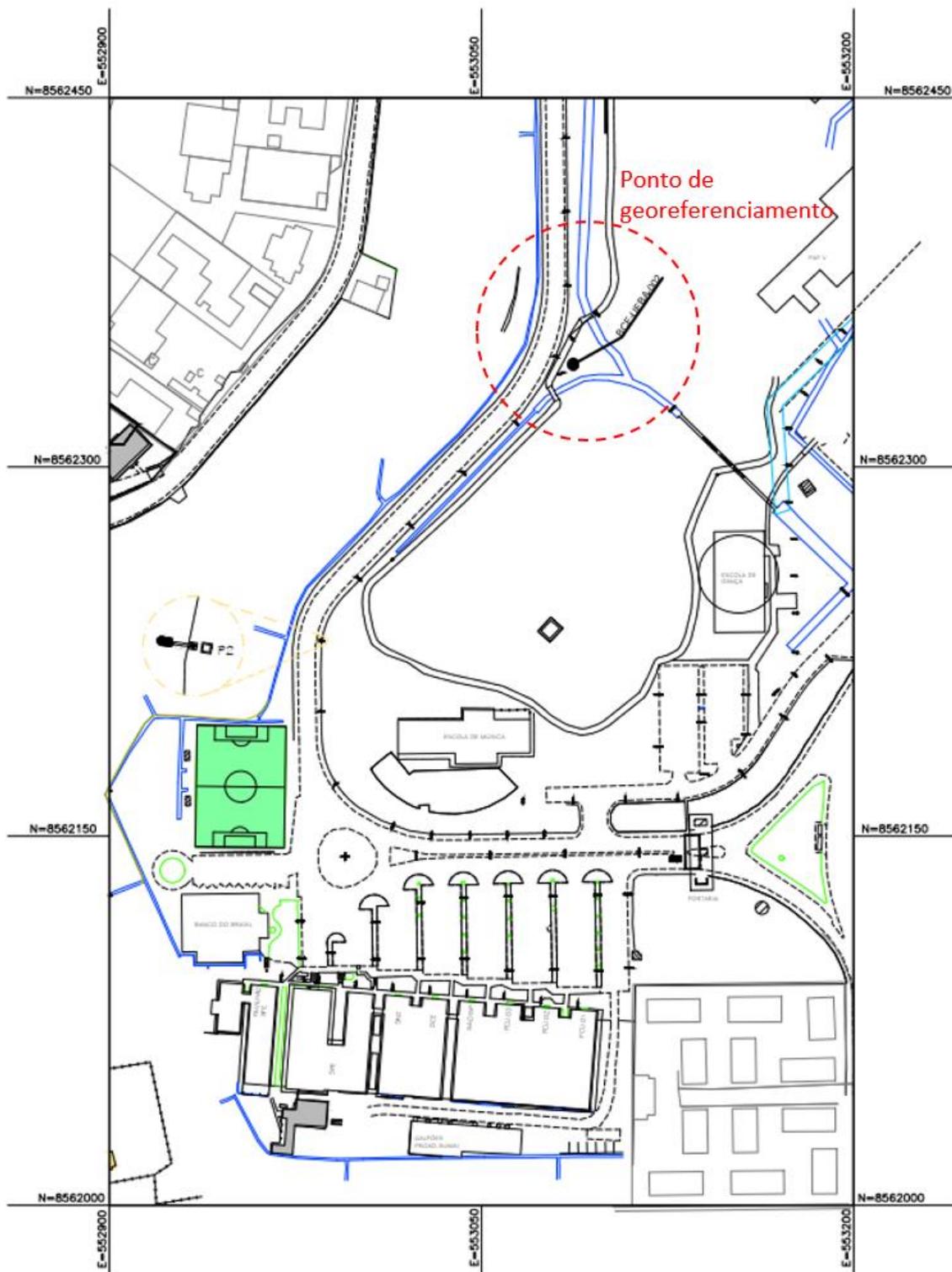
(d) Imagem do Google Earth



Fonte: <https://earth.google.com/web/search/campus+ondina/@-13.00547029,-38.50934991>, 16 fev. 2022.

A combinação dessas plantas foi chamada de “postes rotacionados” com georreferenciamento, que inclui atributos com informações sobre o eixo de rotação (Figura 64).

Figura 64 - "Postes rotacionados" com georreferenciamento e atributos



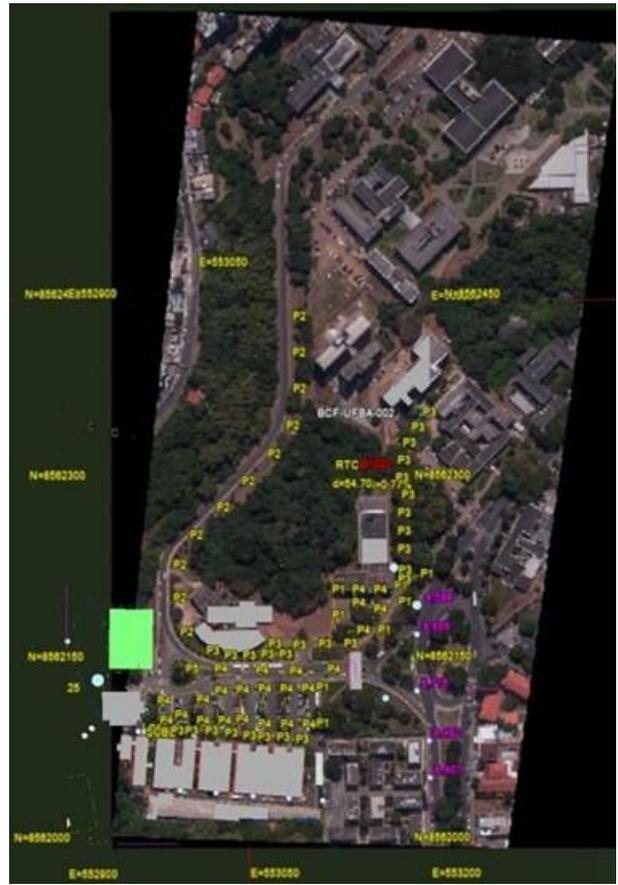
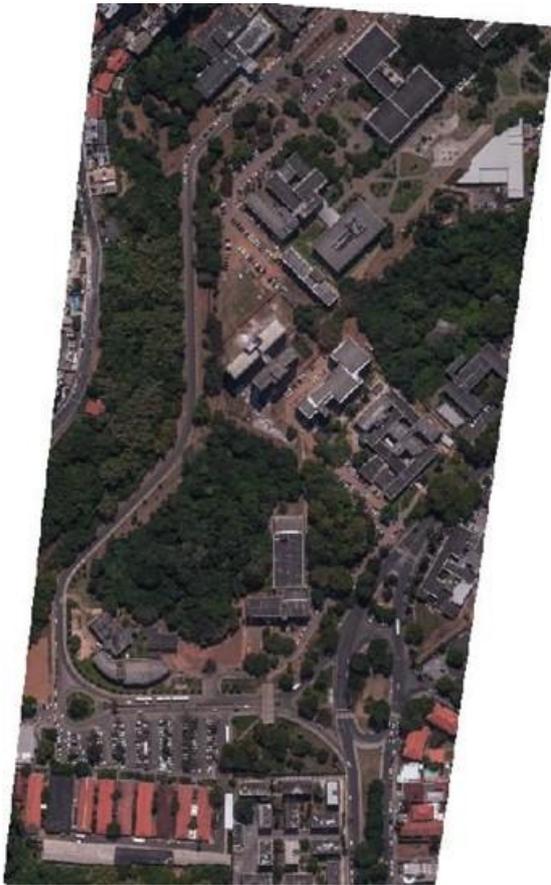
Fonte: Elaborado pela autora.

A junção entre a ortofoto (Figura 65a) e a planta com as informações dos postes só foi viável a partir da planta de levantamento planialtimétrico georreferenciado (Figura 65b), visto que foram realizados testes com as plantas de iluminação e a de localização, que apresentaram divergências, dificultando assim a possibilidade em adotar pontos de referência com a ortofoto.

Figura 65 – Junção da ortofoto e topografia do *campus*

(a) Ortofoto do *campus* (2017)

(b) Junção da ortofoto com a planta georreferenciada do trecho do *campus*

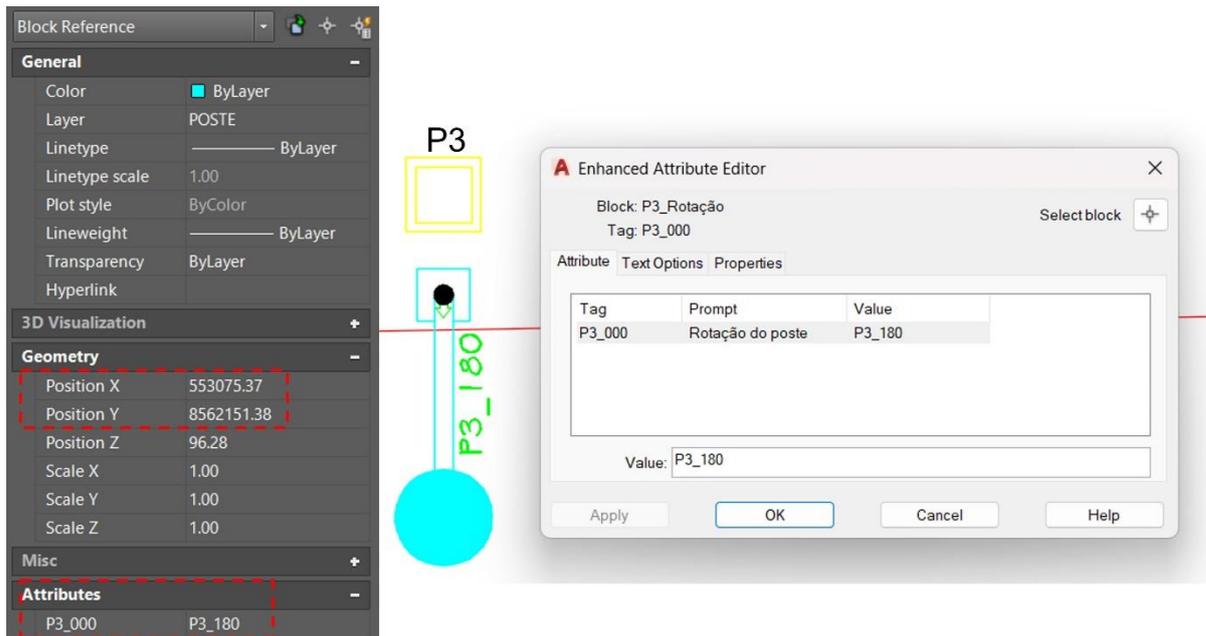


Fonte: www.cartografia.salvador, acesso em: fev. 2022.

Fonte: Elaborado pela autora.

A planta de levantamento planialtimétrico georreferenciado foi enriquecida com pontos de localização dos postes, incorporando *layers* específicos para cada tipo de poste em uma ortofoto com informações de localização (Figura 65b). Para facilitar a identificação, cada ponto recebeu um ID distinto, uma vez que cada poste possui uma orientação única. Ou seja, mesmo com a repetição de tipos de postes (P1 ao P6), foi necessário criar atributos no AutoCAD para identificar a orientação de cada poste. Por exemplo, a Figura 66 mostra o poste do tipo 3 com um eixo de rotação de 180° e sua localização. Esta planta foi denominada de “Postes rotacionados” (Figura 64).

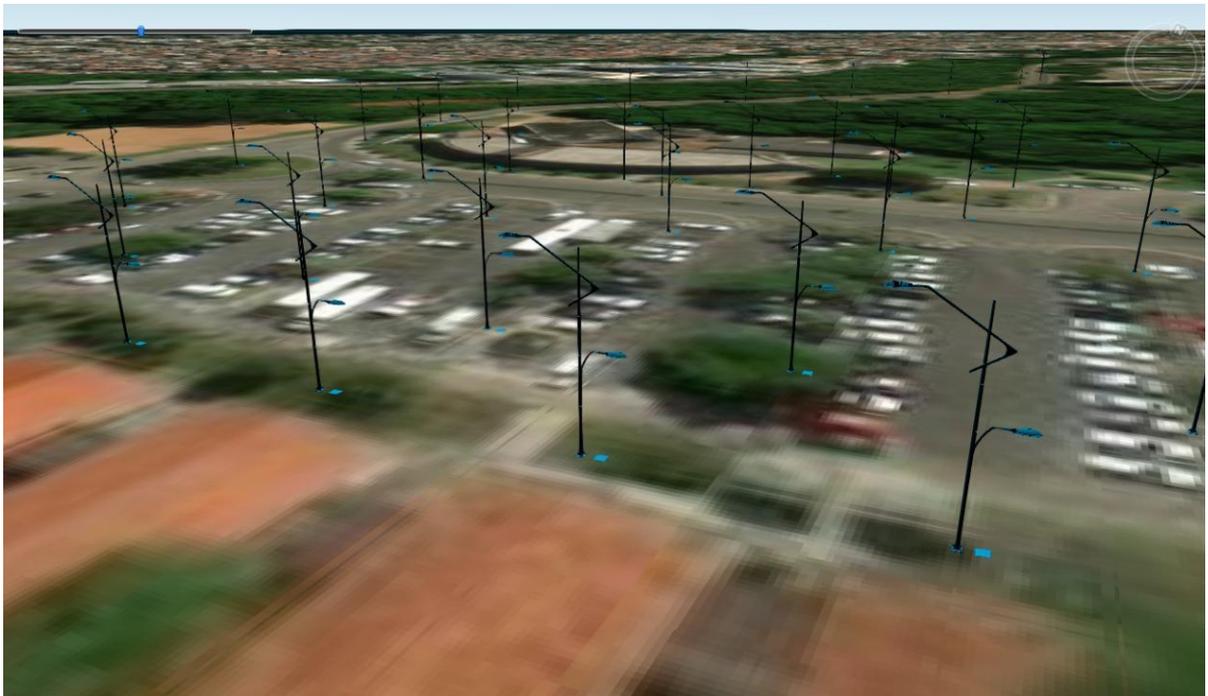
Figura 66 - Atributo do P3



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 67 apresenta um teste no qual os postes estão na mesma direção, pois os pontos de locação estão em uma única camada (*layer*) sem o atributo de rotação específico.

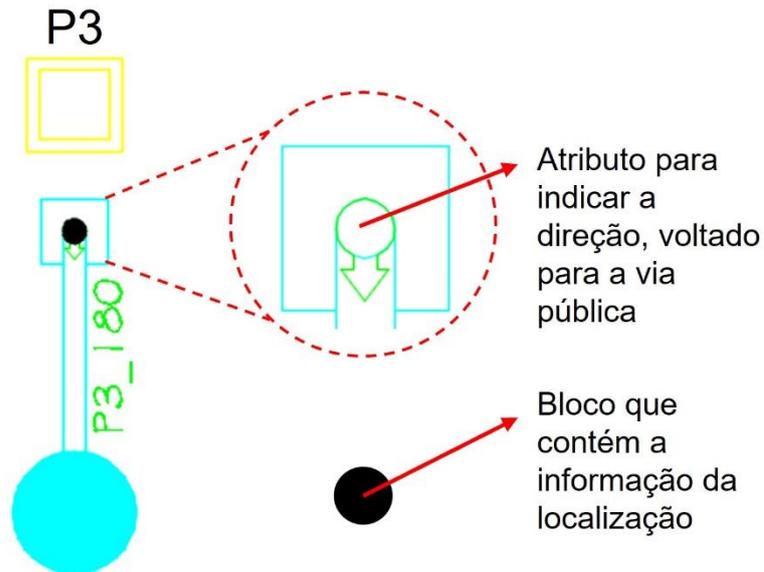
Figura 67 - Locação de postes na ortofoto do CFO



Fonte: Elaborado pela autora.

Como alguns postes possuem luminárias para ambos os lados ou até mesmo para os 4 lados, por exemplo o poste tipo 5 (P5), foi preciso criar um atributo que identificasse a direção do eixo de rotação, orientado sempre para a via pública. Este símbolo foi criado com uma seta, direcionada para o lado da via pública (Figura 68).

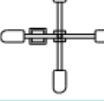
Figura 68 - Componentes que indicam a direção e localização do poste



Fonte: Elaborado pela autora.

Para inserir essas informações no SuperMap, foi necessário separar no AutoCAD os *layers*: POSTE; Postes dos tipos: 1, 2, 3, 4 e 5, e Postes_eixo. O atributo foi definido com a nomenclatura: P1_000, em que o tipo de poste é indicado (por exemplo, poste tipo 1 - P1) e são usadas 3 casas decimais para representar o eixo de rotação (por exemplo, 000). Todas essas nomenclaturas estão explicadas detalhadamente no Quadro 15 - Lista dos tipos de postes, que contém uma lista com os tipos de postes, a classificação dos blocos, *layers* e atributos de rotação.

Quadro 15 - Lista dos tipos de postes

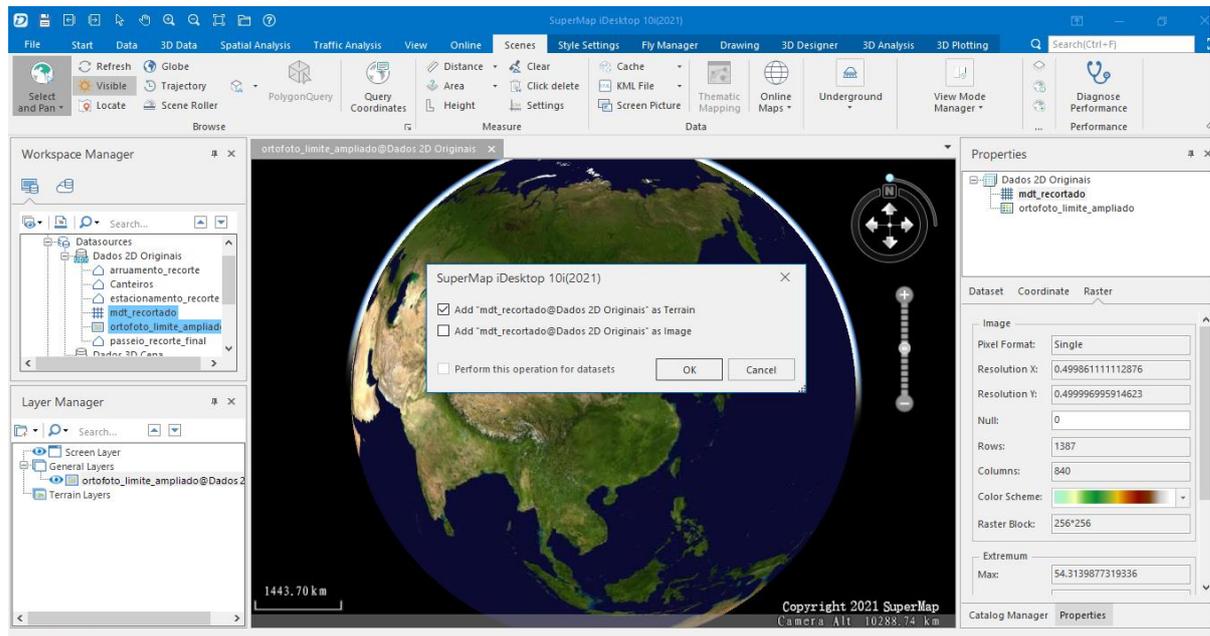
POSTES (Trecho do recorte)				
TIPO	APARÊNCIA	BLOCK NAME	LAYER	ATRIBUTO
1		P1	POSTE	
	P1	Postes_texto		
		Poste 1	Poste 1	P1_000
		Postes_eixo	Postes_eixo	
2		P2	POSTE	
	P2	Postes_texto		
		Poste 2	Poste 2	P2_000
		Postes_eixo	Postes_eixo	
3		P3	POSTE	
	P3	Postes_texto		
		Poste 3	Poste 3	P3_000
		Postes_eixo	Postes_eixo	
4		P4	POSTE	
	P4	Postes_texto		
		Poste 4	Poste 4	P4_000
		Postes_eixo	Postes_eixo	
5		P5	POSTE	
	P5	Postes_texto		
		Poste 5	Poste 5	P5_000
		Postes_eixo	Postes_eixo	

Fonte: Elaborado pela autora.

No SuperMap, o desenvolvimento do modelo geométrico do CFO no LOD1 é possível utilizando o recurso chamado “cena esférica⁷¹” conforme a Figura 69 – SuperMap iDesktop 10i: localização espacial do terreno a ser trabalhado, espaço representado pelo globo terrestre.

⁷¹ A cena esférica no SuperMap é uma funcionalidade que permite visualizar dados geoespaciais em um ambiente 3D que simula o globo terrestre em formato esférico, proporcionando uma experiência imersiva e interativa.

Figura 69 – SuperMap iDesktop 10i: localização espacial do terreno a ser trabalhado

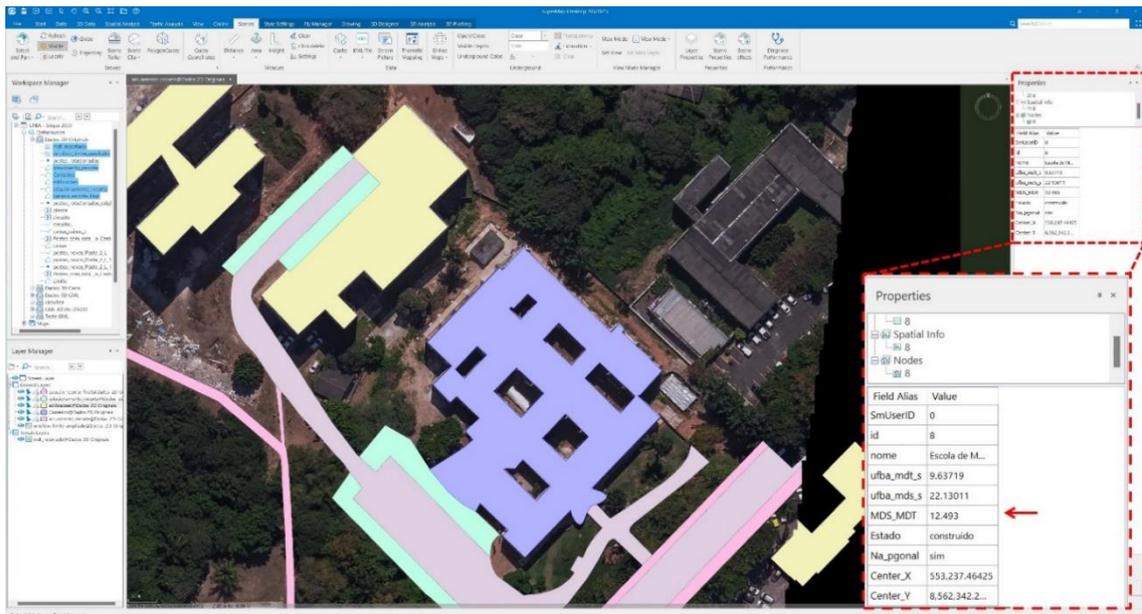


Fonte: Elaborado pela autora.

É possível unir a ortofoto, composta pelo *footprint* das edificações, vias públicas, passeios e postes ao MDT com informações de alturas das edificações, espessura das vias, passeios e o relevo do terreno, e assim, obter automaticamente as edificações, representadas como blocos prismáticos sobre o modelo do terreno.

As camadas (arruamento, canteiros, estacionamentos e passeios) incluídas na cena contêm informações de geolocalização e se ajustam ao MDT, acompanhando o relevo da região selecionada. As edificações foram posicionadas na localização correta de acordo com o sistema de coordenadas SIRGAS 2000, incluindo informações de altura, como exemplificado no detalhe da Figura 70 - Inserção das edificações na cena, em que a altura da edificação é de 12,493 m.

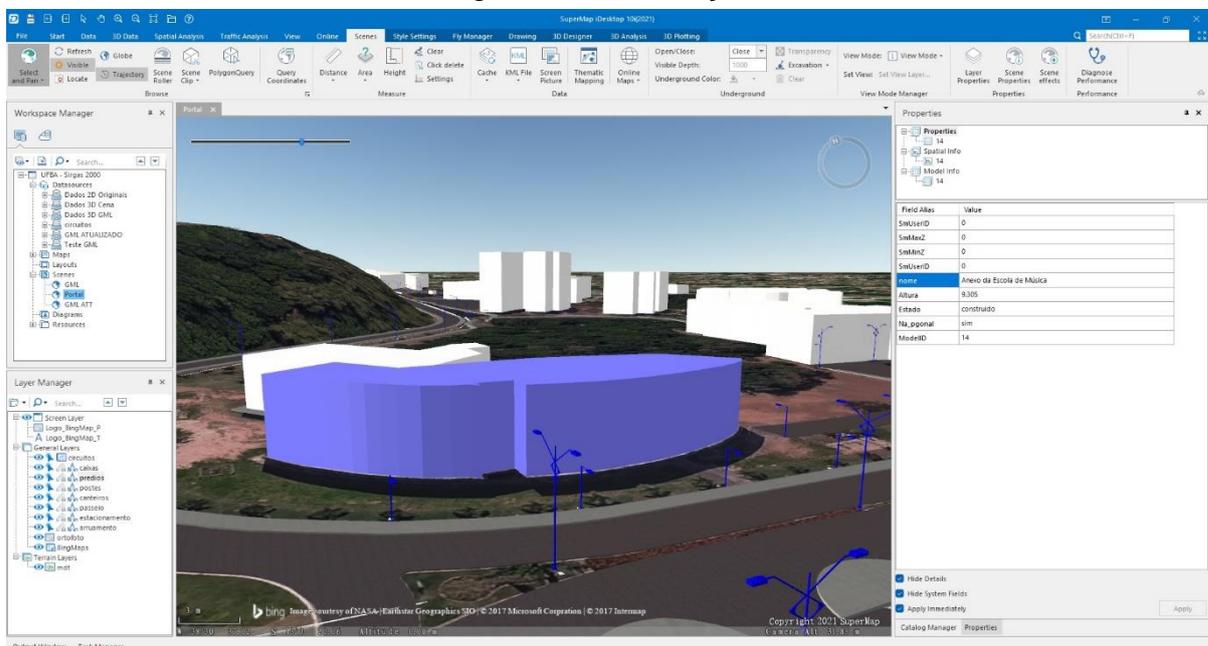
Figura 70 - Inserção das edificações na cena



Fonte: Elaborado pela autora.

Na Figura 71 é possível perceber que as edificações não apresentam textura, pois não era o foco do trabalho, mas estão com os atributos da nomenclatura.

Figura 71 - Edificações

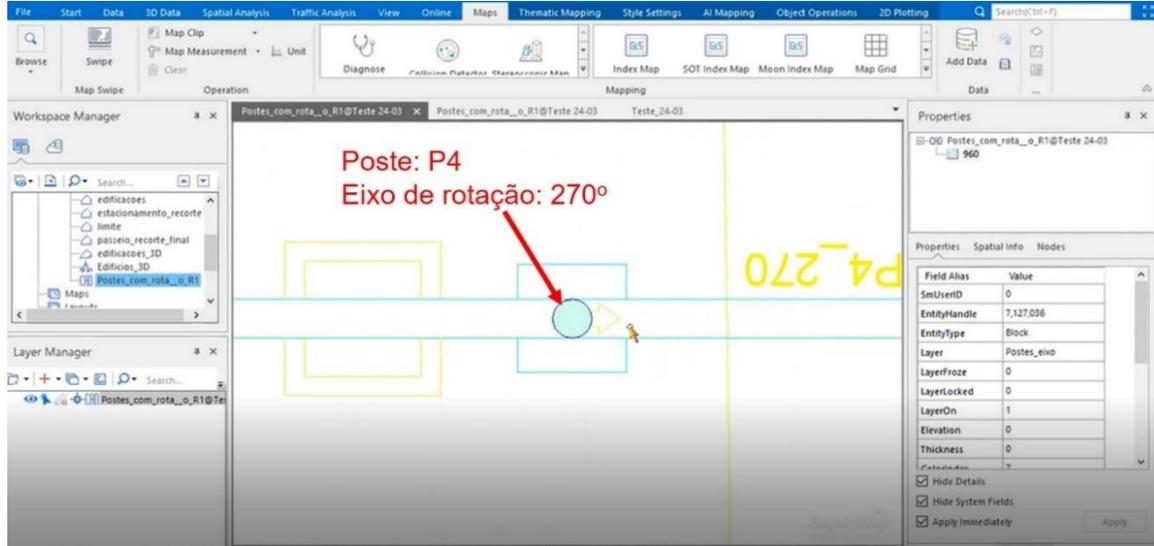


Fonte: Elaborado pela autora.

Após a etapa de modelagem do CFO, foi realizada a inserção no SuperMap iDesktop dos postes modelados no SketchUp e georreferenciados no AutoCAD, com os atributos de rotação, "Postes rotacionados".

O ponto central é o eixo de locação de cada poste. E a seta foi criada como eixo de rotação. A Figura 72 expõe o tipo de poste P4 e o eixo de rotação 270°.

Figura 72 - Eixo de rotação dos postes



Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 73 apresenta as informações de alguns postes, incluindo as coordenadas X, Y e Z. X e Y representam a localização, e Z representa a cota de altura em que o poste está instalado no terreno. Além disso, a coluna “BlockRotation” indica o eixo de rotação.

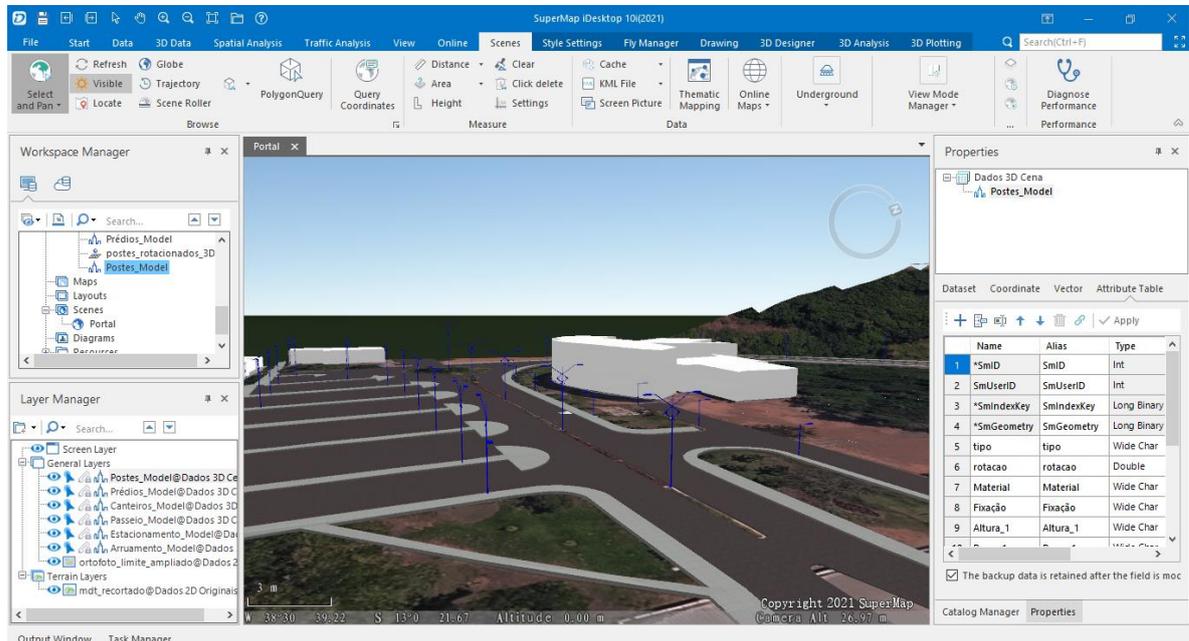
Figura 73 – Informações do poste: localização, rotação etc.

BlockName	Layer	Elevation	BlockRotation
1	Postes	7.127.036	270
2	Postes	7.127.036	270
3	Postes	7.127.036	270
4	Postes	7.127.036	270
5	Postes	7.127.036	270
6	Postes	7.127.036	270
7	Postes	7.127.036	270
8	Postes	7.127.036	270
9	Postes	7.127.036	270
10	Postes	7.127.036	270
11	Postes	7.127.036	270
12	Postes	7.127.036	270
13	Postes	7.127.036	270
14	Postes	7.127.036	270
15	Postes	7.127.036	270
16	Postes	7.127.036	270
17	Postes	7.127.036	270
18	Postes	7.127.036	270
19	Postes	7.127.036	270
20	Postes	7.127.036	270
21	Postes	7.127.036	270
22	Postes	7.127.036	270
23	Postes	7.127.036	270
24	Postes	7.127.036	270
25	Postes	7.127.036	270
26	Postes	7.127.036	270
27	Postes	7.127.036	270
28	Postes	7.127.036	270
29	Postes	7.127.036	270
30	Postes	7.127.036	270
31	Postes	7.127.036	270
32	Postes	7.127.036	270
33	Postes	7.127.036	270
34	Postes	7.127.036	270
35	Postes	7.127.036	270
36	Postes	7.127.036	270
37	Postes	7.127.036	270
38	Postes	7.127.036	270
39	Postes	7.127.036	270
40	Postes	7.127.036	270
41	Postes	7.127.036	270
42	Postes	7.127.036	270
43	Postes	7.127.036	270
44	Postes	7.127.036	270
45	Postes	7.127.036	270
46	Postes	7.127.036	270
47	Postes	7.127.036	270
48	Postes	7.127.036	270
49	Postes	7.127.036	270

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 74 apresenta a visualização dos postes 3D na Cena 1.

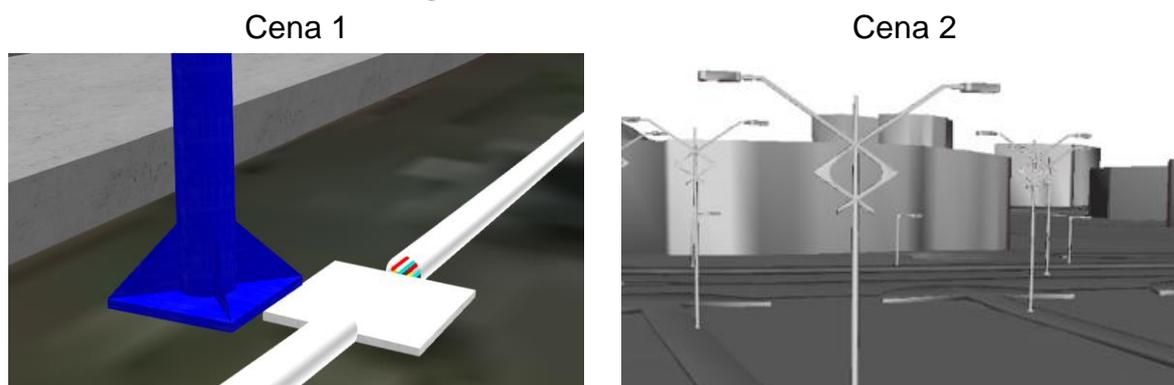
Figura 74 – Visualização dos postes 3D na cena



Fonte: Elaborado pela autora.

No SuperMap, “Cena” é a designação do modelo geométrico durante o desenvolvimento. Neste experimento, foi necessário criar duas Cenas distintas (Cena1 e Cena 2, conforme ilustrado na Figura 75) para a implementação das etapas seguintes. A Cena 1 compõe a aplicação no próprio SuperMap iDesktop, incluindo postes com texturas e a visualização dos eletrodutos com as fases e o consumo dos postes. Por outro lado, a Cena 2 abrange a aplicação no SuperMap iDesktopX 10i sem a textura dos postes e dos eletrodutos, a fim de ser convertida para o padrão CityGML. Provavelmente ocorreram problemas de interoperabilidade entre os programas utilizados, uma vez que foi necessário utilizar a versão “X” do SuperMap e o FME para converter o modelo para o padrão CityGML.

Figura 75 - Cena 1 e Cena 2



Fonte: Elaborado pela autora.

Foram realizados diversos testes de exportação dos arquivos em CityGML e somente foi aceito quando foram excluídas as texturas dos postes e os eletrodutos com cabeadamentos. Por esta razão foram criadas duas cenas diferentes.

A Cena 1 foi utilizada na etapa 3, desenvolvida no SuperMap. Por meio de linguagem de programação, foram inseridas informações dos cabeadamentos e do consumo de energia elétrica por cada tipo de poste, de acordo com a duração da noite, na opção de data selecionada.

Já a Cena 2 foi utilizada na etapa 4, desenvolvida no iDesktop 10i e convertida em CityGML no iDesktopX 10i. A inserção da semântica precisou ser refeita, e a integração dos objetos no padrão CityGML foi realizada no FME.

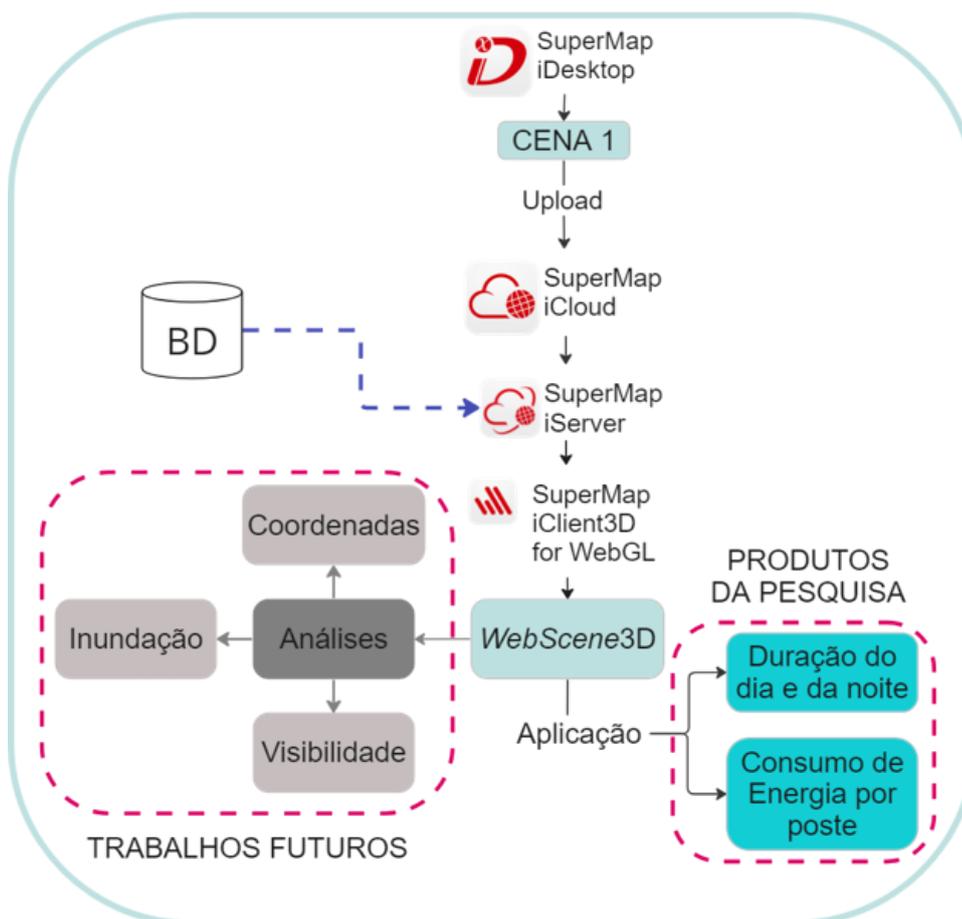
5.1.4 Fluxo de trabalho da Etapa 3

A Figura 76 apresenta a construção do modelo geométrico e semântico do CFO, com acesso a informações para auxílio da gestão, como por exemplo o consumo diário de cada poste. No SuperMap iDesktop 10i, os dados são inseridos no Banco de Dados para suprir o SuperMap iServer, disponibilizando a informação das cenas na *WebScene3D*⁷² desenvolvida utilizando o SuperMap iClient, cujo acesso pode ser viabilizado por meio de um *link* particular da UFBA.

⁷² O SuperMap oferece recursos para criação de *WebScene3D*, que permitem visualizar e interagir com dados geoespaciais em um ambiente tridimensional na *web* de forma imersiva, podendo visualizar o ambiente urbano, terrenos, infraestruturas etc.

Figura 76 – Fluxograma da Etapa 3

Etapa 3: PROCESSAMENTO E INSERÇÃO DA SEMÂNTICA DO CONSUMO DOS POSTES



Fonte: Elaborado pela autora.

Para inserir as informações relacionadas ao consumo dos postes foi preciso organizar os dados obtidos através de planilhas fornecidas pela SUMAI com informações do consumo referente à subestação (QGBT1⁷³- FACOM), conforme Quadro 16.

Quadro 16 - Histórico de consumo Iluminação Pública Subestação 1, Ondina

Mês/ano	Classe cálculo (baixa tensão)	Unidade/UFBA	Conta-contrato COELBA	Consumos ativos (KWh)	Total da fatura (R\$)
INÍCIO DA MEDIÇÃO COM LÂMPADAS VAPOR METÁLICO					
jan-20	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	21.672,00	R\$ 15.481,63
fev-20	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	19.344,00	R\$ 13.551,90
mar-20	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	20.928,00	R\$ 14.589,16
abr-20	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	20.748,00	R\$ 14.579,11

⁷³ QGBT1 – Nomenclatura interna da UFBA que designa o Quadro Geral de Baixa Tensão 1.

Mês/ano	Classe cálculo (baixa tensão)	Unidade/UFBA	Conta-contrato COELBA	Consumos ativos (KWh)	Total da fatura (R\$)
INÍCIO DA MEDIÇÃO COM LÂMPADAS VAPOR METÁLICO					
mai-20	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	24.988,80	R\$ 17.533,32
jun-20	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	22.360,80	R\$ 15.809,10
jul-20	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	27.748,80	R\$ 20.550,76
ago-20	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	22.680,00	R\$ 16.757,42
set-20	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	22.432,80	R\$ 16.564,65
out-20	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	19.231,20	R\$ 13.967,98
nov-20	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	22.168,80	R\$ 27.798,56
dez-20	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	20.901,60	R\$ 35.121,64
jan-21	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	19.488,00	R\$ 15.204,12
fev-21	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	19.044,00	R\$ 16.850,81
mar-21	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	20.716,80	R\$ 15.384,97
abr-21	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	19.377,60	R\$ 17.101,68
mai-21	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	20.440,80	R\$ 18.877,44
jun-21	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	22.296,00	R\$ 20.306,69
jul-21	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	21.235,20	R\$ 18.927,02
ago-21	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	19.905,60	R\$ 19.687,73
set-21	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	20.604,00	R\$ 19.298,78
out-21	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	18.057,60	R\$ 23.113,47
INÍCIO DA MEDIÇÃO APÓS TROCA DAS LUMINÁRIAS POR LED					
nov-21	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	10.399,20	R\$ 13.363,55
dez-21	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	10.593,60	R\$ 11.400,04
jan-21	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	9.873,60	R\$ 10.075,72
fev-21	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	9.808,80	R\$ 12.727,67
mar-21	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	11.004,00	R\$ 11.036,89
abr-21	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	10.116,00	R\$ 10.142,77
mai-21	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	10.408,80	R\$ 10.221,12
jun-21	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	14.524,80	R\$ 13.983,15
jul-21	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	5.589,60	R\$ 5.459,71
ago-21	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	100,00	R\$ 496,94
set-21	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	20.520,00	R\$ 19.110,01
out-21	Grupo B	IP1-Iluminação Pública-QGBT1(FACOM)	7048170352	8.486,40	R\$ 8.048,41

Fonte: Adaptado da SUMAI (2022).

Na primeira etapa da medição de janeiro de 2020 a outubro de 2021, realizada na subestação 1 em frente à FACOM (QGBT1-FACOM), as lâmpadas tinham potência

de 150 e 250 W e eram em vapor metálico. E, a partir de novembro de 2021, as lâmpadas foram substituídas pelo padrão LED, com potência de 54 e 117 W.

Esta troca representou uma redução do consumo em média de cinquenta por cento (50%) em KWh/mês e nos custos financeiros referentes à operação de energia elétrica para iluminação pública.

Para a troca das lâmpadas, foi necessário realizar o levantamento de todas as luminárias do *campus*. O Quadro 13 apresenta uma amostra desse levantamento, contendo a localização, quantidade e tipo de luminárias e lâmpadas, além da potência de cada lâmpada. Esse esforço foi justificado pelos retornos obtidos em economia de energia, e o processo foi realizado de forma gradual, sendo concluído em novembro de 2021.

A troca de lâmpadas ocorreu após o levantamento inicial desta pesquisa. A obtenção dessa informação se deu durante uma das entrevistas, no período pós-pandemia, uma vez que, por um longo período, não foi possível realizar verificações de campo. Dessa forma, o levantamento da aplicação contém informações sobre as luminárias em vapor metálico e o controle de acionamento das mesmas por fotocélula. Anteriormente, esse controle era realizado em cada poste, mas foi substituído por uma fotocélula alocada em cada subestação, a qual aciona os circuitos dos postes associados a ela de uma só vez.

A fotocélula funciona de acordo com a quantidade de iluminação natural do ambiente. Ela é ativada entre 17:30 e 18:00 horas e desligada entre 4:30 e 5:30 horas da manhã do dia seguinte. Em média, os circuitos ficam ligados por 12 horas durante o período da noite.

O Quadro 17 - Potência das lâmpadas de vapor metálico e LED por posteQuadro 17 apresenta a potência das lâmpadas nos padrões: vapor metálico e LED. A depender da quantidade de lâmpadas é possível identificar o consumo de energia elétrica (kW) por poste. Diante destas mudanças foram acrescentadas à aplicação informações do consumo unitário dos postes, visando facilitar o acesso a este tipo de dado para futuros levantamentos e controle da gestão de eficiência energética da iluminação pública do *campus*.

Quadro 17 - Potência das lâmpadas de vapor metálico e LED por poste

Tipo de poste	Lâmpadas Vapor Metálico							
	Quant.	Potência (W)	Total (W)	Quant.	Potência (W)	Total (W)	Total por poste (W)	Total (kW)
P1	1	250	250	1	150	150	400	0,401
P2	1	250	250			0	250	0,250
P3	2	150	300			0	300	0,300
P4	2	250	500			0	500	0,500
P5	4	250	1000			0	1000	1,000
Lâmpadas LED								
P1	1	117	117	1	54	54	171	0,172
P2	1	117	117			0	117	0,117
P3	2	54	108			0	108	0,108
P4	2	117	234			0	234	0,234
P5	4	117	468			0	468	0,468

Fonte: Elaborado pela autora a partir de dados fornecidos pela SUMAI (2022).

Mas, apenas o levantamento da potência por poste não era suficiente. Durante os estudos foram elaboradas planilhas para fazer o levantamento da duração das noites (de janeiro de 2020 até outubro de 2022). A partir de informações retiradas do *website*: sunrise-and-sunset.com⁷⁴. O Quadro 18 apresenta a legenda e o padrão de consumo de cada tipo de poste / tipo de lâmpada (vapor metálico e LED).

Quadro 18 - Legenda com informações do consumo diário dos postes do CFO

Legenda		
	Nascer do sol	
	Pôr do sol	
	Duração da noite	
Poste	Energia consumida por poste (kWh) Lâmpada vapor metálico	Energia consumida por poste (kWh) Lâmpada LED
P1	0,401	0,172
P2	0,250	0,117
P3	0,300	0,108
P4	0,500	0,234
P5	1,000	0,468

Fonte: Elaborado pela autora.

⁷⁴ Disponível em: <https://www.sunrise-and-sunset.com/pt/sun/brasil/salvador/2022/outubro>. Acesso em: 23 nov. 2022.

O Quadro 19 apresenta o levantamento do período do mês de janeiro de 2020, no qual a lâmpada utilizada era de vapor metálico, com informações sobre a estimativa de consumo de energia (kWh) por tipo de poste e horas de uso nesse intervalo.

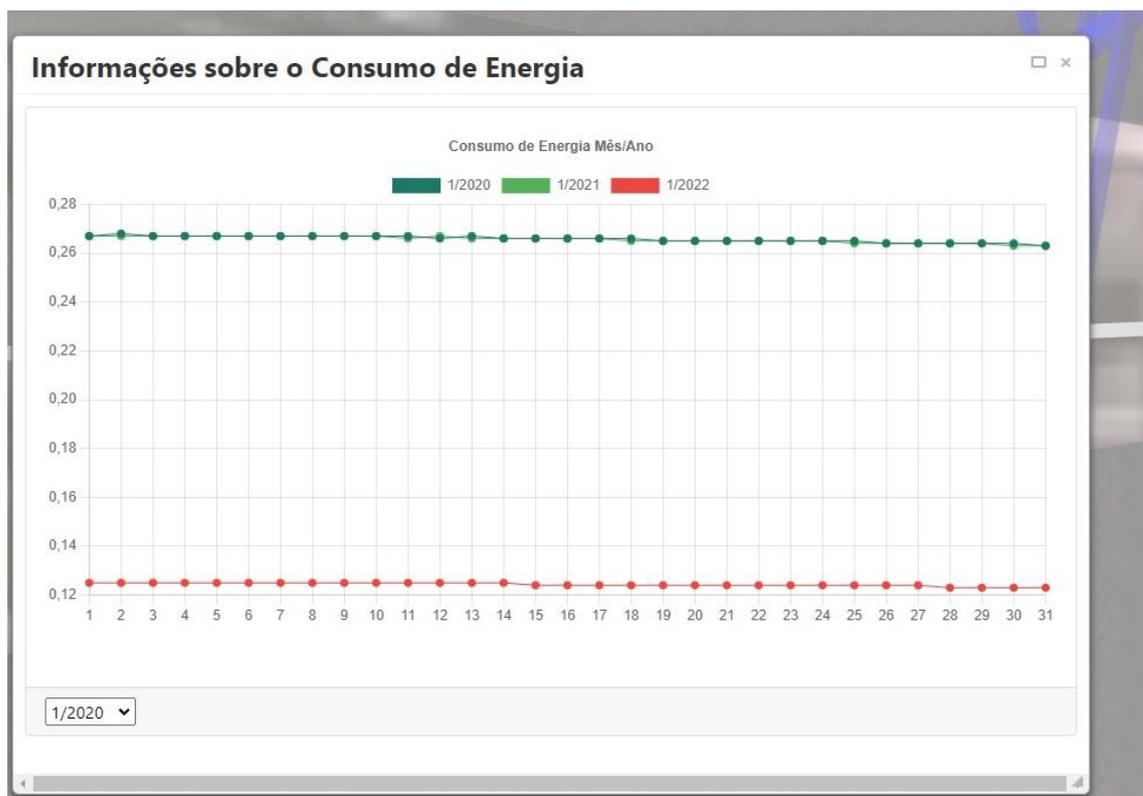
Quadro 19 – Estimativa de consumo de energia por tipo de poste (jan. 2020)

Ano	Mês	Data	Duração da noite			Energia consumida por poste (kWh) Lâmpada vapor metálico				
						P1	P2	P3	P4	P5
			Total por poste (kW)					0,401	0,250	0,300
2019	Dez.	31	18:02							
2020	janeiro	01	18:02	05:12	12:50	0,214	0,134	0,160	0,267	0,535
		02	18:03	05:12	12:50	0,214	0,134	0,160	0,267	0,535
		03	18:03	05:13	12:50	0,214	0,134	0,160	0,267	0,535
		04	18:03	05:13	12:50	0,214	0,134	0,160	0,267	0,535
		05	18:04	05:14	12:49	0,214	0,134	0,160	0,267	0,534
		06	18:04	05:14	12:50	0,214	0,134	0,160	0,267	0,535
		07	18:04	05:15	12:49	0,214	0,134	0,160	0,267	0,534
		08	18:04	05:16	12:48	0,214	0,133	0,160	0,267	0,533
		09	18:05	05:16	12:48	0,214	0,133	0,160	0,267	0,533
		10	18:05	05:17	12:48	0,214	0,133	0,160	0,267	0,533
		11	18:05	05:17	12:48	0,214	0,133	0,160	0,267	0,533
		12	18:05	05:18	12:47	0,214	0,133	0,160	0,266	0,533
		13	18:06	05:18	12:47	0,214	0,133	0,160	0,266	0,533
		14	18:06	05:19	12:47	0,214	0,133	0,160	0,266	0,533
		15	18:06	05:20	12:46	0,213	0,133	0,160	0,266	0,532
		16	18:06	05:20	12:46	0,213	0,133	0,160	0,266	0,532
		17	18:06	05:21	12:45	0,213	0,133	0,159	0,266	0,531
		18	18:06	05:21	12:45	0,213	0,133	0,159	0,266	0,531
		19	18:06	05:22	12:44	0,213	0,133	0,159	0,265	0,531
		20	18:06	05:22	12:44	0,213	0,133	0,159	0,265	0,531
		21	18:07	05:23	12:43	0,212	0,132	0,159	0,265	0,530
		22	18:07	05:23	12:44	0,213	0,133	0,159	0,265	0,531
		23	18:07	05:24	12:43	0,212	0,132	0,159	0,265	0,530
		24	18:07	05:24	12:43	0,212	0,132	0,159	0,265	0,530
		25	18:07	05:25	12:42	0,212	0,132	0,159	0,265	0,529
		26	18:06	05:25	12:42	0,212	0,132	0,159	0,265	0,529
		27	18:06	05:26	12:40	0,212	0,132	0,158	0,264	0,528
		28	18:06	05:26	12:40	0,212	0,132	0,158	0,264	0,528
		29	18:06	05:27	12:39	0,211	0,132	0,158	0,264	0,527
		30	18:06	05:27	12:39	0,211	0,132	0,158	0,264	0,527
		31	18:06	05:28	12:38	0,211	0,132	0,158	0,263	0,526
Total do cons. jan./20 por poste de ilum. pública						6,606	4,119	4,943	8,238	16,475
Média de consumo por poste / dia em jan.						0,213	0,133	0,159	0,266	0,531
% consumo da subestação QGBT1 (FACOM)						0,030%	0,019%	0,023%	0,038%	0,076%

Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 77 apresenta as informações sobre a estimativa de consumo de energia em kW⁷⁵ distribuídos durante os dias dos meses de janeiro de 2020, 2021 e 2022 para o poste tipo 4. Em janeiro de 2020 e 2021, as lâmpadas ainda eram de vapor metálico, por isso, os dados estão praticamente sobrepostos no gráfico, exibindo a estimativa de consumo dia a dia.

Figura 77 – Estimativa de consumo de energia poste tipo 4 em jan. 2020 / 2021 / 2022



Fonte: Elaborado pela autora.

O Quadro 20 apresenta o levantamento do período do mês de novembro de 2021, quando as lâmpadas foram substituídas para o padrão LED.

Quadro 20 – Estimativa de consumo de energia por tipo de poste (nov. 2021)

Duração da noite						Energia consumida por poste (kWh) Lâmpada LED				
Ano	Mês	Data				P1	P2	P3	P4	P5
						Total por poste (kW)				
						0,172	0,117	0,108	0,234	0,468
2021	Out.	31	17:33							
	nov	01	17:33	05:01	12:32	0,090	0,061	0,056	0,122	0,244

⁷⁵ Quilowatt (kW) é uma unidade de medida de potência que equivale a mil watts. Comumente utilizada para expressar a potência de equipamentos elétricos e sistemas de energia.

Duração da noite						Energia consumida por poste (kWh) Lâmpada LED				
Ano	Mês	Data				P1	P2	P3	P4	P5
						Total por poste (kW)				
						0,172	0,117	0,108	0,234	0,468
		02	17:34	05:01	12:32	0,090	0,061	0,056	0,122	0,244
		03	17:34	05:00	12:34	0,090	0,061	0,057	0,123	0,245
		04	17:34	05:00	12:34	0,090	0,061	0,057	0,123	0,245
		05	17:35	05:00	12:34	0,090	0,061	0,057	0,123	0,245
		06	17:35	04:59	12:36	0,090	0,061	0,057	0,123	0,246
		07	17:35	04:59	12:36	0,090	0,061	0,057	0,123	0,246
		08	17:36	04:59	12:36	0,090	0,061	0,057	0,123	0,246
		09	17:36	04:59	12:37	0,090	0,062	0,057	0,123	0,246
		10	17:37	04:59	12:37	0,090	0,062	0,057	0,123	0,246
		11	17:37	04:58	12:39	0,091	0,062	0,057	0,123	0,247
		12	17:37	04:58	12:39	0,091	0,062	0,057	0,123	0,247
		13	17:38	04:58	12:39	0,091	0,062	0,057	0,123	0,247
		14	17:38	04:58	12:40	0,091	0,062	0,057	0,124	0,247
		15	17:39	04:58	12:40	0,091	0,062	0,057	0,124	0,247
		16	17:39	04:58	12:41	0,091	0,062	0,057	0,124	0,247
		17	17:40	04:58	12:41	0,091	0,062	0,057	0,124	0,247
		18	17:40	04:58	12:42	0,091	0,062	0,057	0,124	0,248
		19	17:41	04:58	12:42	0,091	0,062	0,057	0,124	0,248
		20	17:41	04:58	12:43	0,091	0,062	0,057	0,124	0,248
		21	17:42	04:58	12:43	0,091	0,062	0,057	0,124	0,248
		22	17:42	04:58	12:44	0,091	0,062	0,057	0,124	0,248
		23	17:43	04:58	12:44	0,091	0,062	0,057	0,124	0,248
		24	17:43	04:58	12:45	0,091	0,062	0,057	0,124	0,249
		25	17:44	04:58	12:45	0,091	0,062	0,057	0,124	0,249
		26	17:44	04:58	12:46	0,091	0,062	0,057	0,124	0,249
		27	17:45	04:58	12:46	0,091	0,062	0,057	0,124	0,249
		28	17:45	04:58	12:47	0,092	0,062	0,058	0,125	0,249
		29	17:46	04:58	12:47	0,092	0,062	0,058	0,125	0,249
		30	17:46	04:59	12:47	0,092	0,062	0,058	0,125	0,249
Total do cons. nov./21 por poste de ilum. pública						2,896	1,970	1,819	3,940	7,881
Média de consumo por poste / dia em nov.						0,091	0,062	0,057	0,124	0,247
% consumo da subestação QGBT1 (FACOM)						0,028%	0,019%	0,017%	0,038%	0,076%

Fonte: Elaborado pela autora.

Com a substituição das lâmpadas para LED foi possível constatar que houve um decréscimo no consumo diário dos postes analisados, assim como em toda a rede interligada à Subestação 1 (QGBT1-FACOM).

O gráfico apresentado na Figura 77 foi elaborado a partir das informações compiladas sobre a estimativa de consumo diário de cada tipo de poste, no período de janeiro de 2020 até outubro de 2022. Esses dados foram obtidos com base nas informações da Coelba. Os levantamentos realizados tinham como objetivo estudar quais dados poderiam ser inseridos no modelo, utilizando recursos da linguagem de programação do SuperMap. Nesse contexto específico, foi testada a programação para extrair o consumo diário por poste, considerando a duração das noites.

Aprimorando este processo, buscou-se o *website* sunrise-and-sunset.com para obter essas informações em tempo real. A conexão com o *website* foi realizada por meio da linguagem de programação JavaScript, que é uma das linguagens suportadas pelo SuperMap. O iDesktop e iServer utilizam Java.

Outras informações, como a vida útil das lâmpadas, código dos produtos, fornecedor, índice de iluminância, histórico de manutenções realizadas, entre outras, são importantes para o processo de gestão de manutenção e controle da eficiência energética do *campus*. No entanto, esses dados não foram incluídos nesta aplicação. Adicionalmente, o sistema pode ter acesso a essas informações por meio de sensores instalados nas subestações.

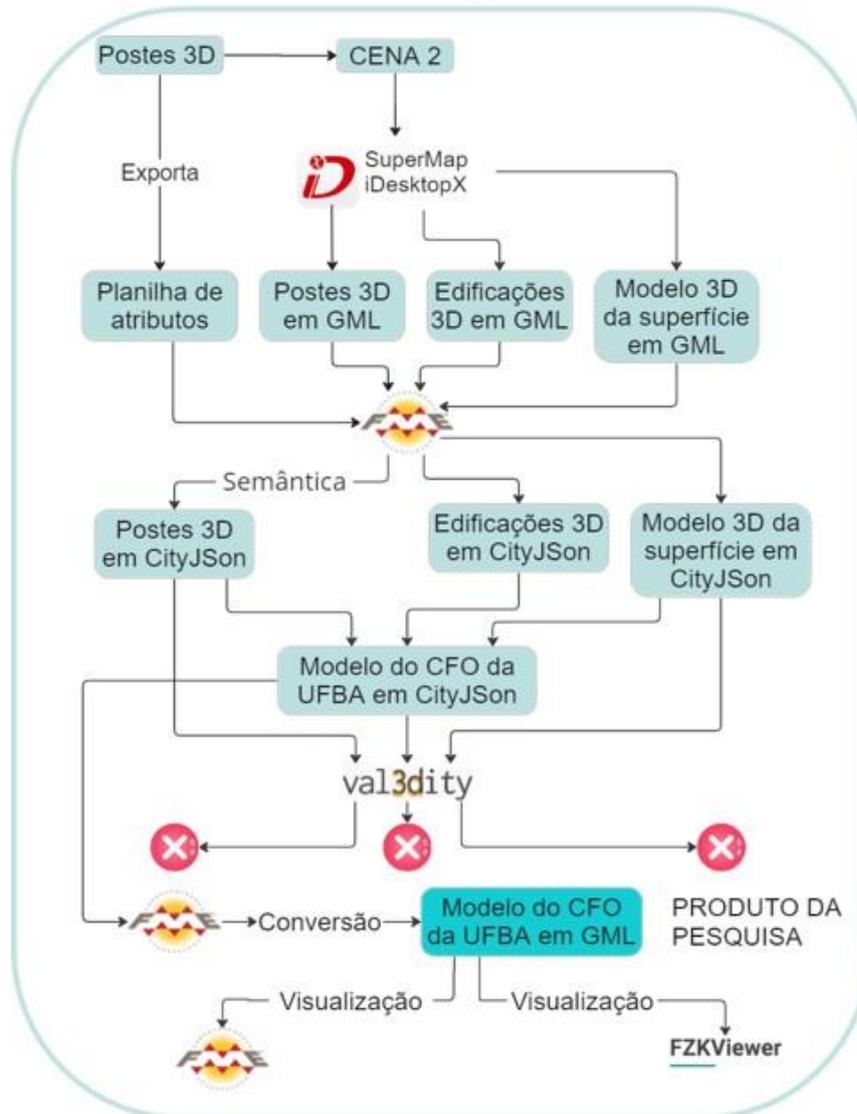
5.1.5 Fluxo de trabalho da Etapa 4

A Cena 2 foi modelada no SuperMap iDesktop 10i 2021, representando postes sem textura, os quais foram separados por tipo, e sem os eletrodutos. Posteriormente, a cena foi aberta no iDesktopX 10i, conforme indicado na Figura 78 do fluxograma da etapa 4. Em seguida, os três arquivos foram exportados em formato CityGML: postes, prédios e superfície, juntamente com a planilha de atributos dos postes.

Na etapa 2, os postes foram separados por tipo, enquanto a superfície foi agrupada com o MDT, arruamento, passeio e estacionamento.

Figura 78 - Fluxograma da etapa 4

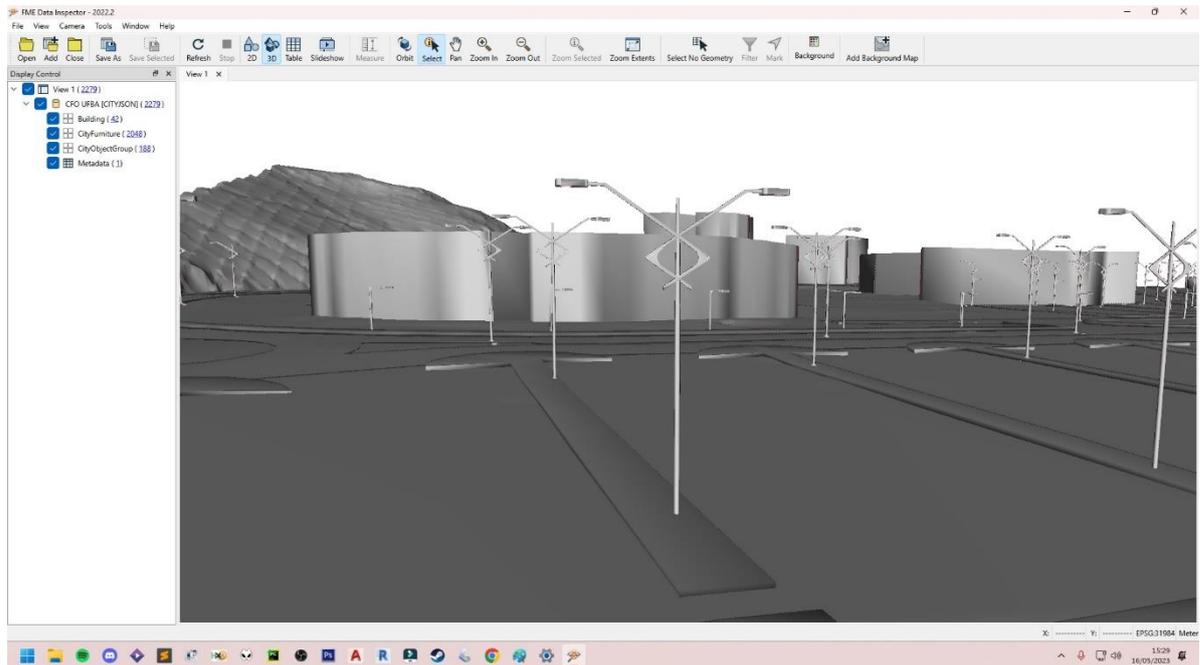
Etapa 4: PROCESSAMENTO, CONVERSÃO DO MODELO GEOMÉTRICO E SEMÂNTICO DO CFO NO PADRÃO CITYGML E VALIDAÇÃO



Fonte: Elaborado pela autora.

Utilizando o FME, os arquivos em CityGML das edificações e superfície foram convertidos em CityJson. Além disso, o arquivo dos postes foi acrescido da semântica (Figura 79).

Figura 79 - FME Data Inspector: modelo geométrico e semântico do CFO em CityJson

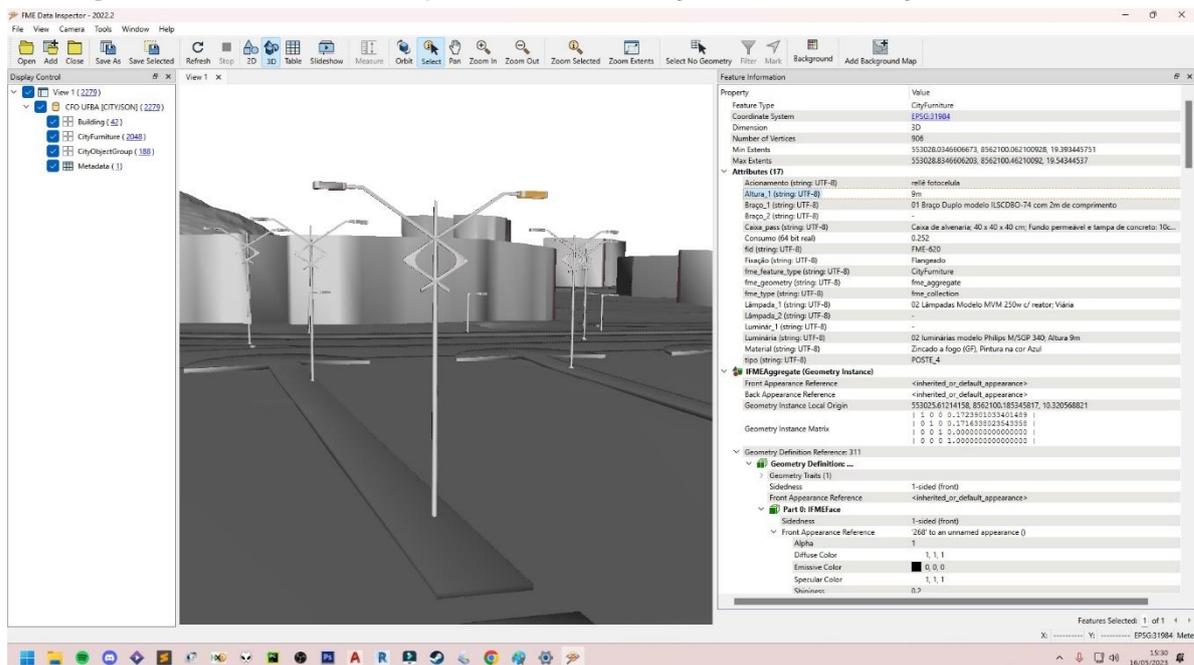


Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 80 mostra a semântica do poste tipo 4 a partir da visualização do modelo no formato CityJson. Esse formato demonstrou ser o mais adequado para a aplicação, pois evidenciou compatibilidade com o software FME, considerando as características já mencionadas. Além disso, o CityJson é um dos formatos aceitos pelo Val3dity, o que possibilitou a realização de testes de validação.

No quadro lateral, estão listadas algumas informações, por exemplo: a altura do poste tipo 4, o modelo e a medida do braço que apoia a luminária, material e dimensão da caixa de passagem, a quantidade de lâmpadas e luminárias, assim como o modelo das luminárias e tipo de lâmpadas. Além destas informações é possível identificar a indicação do módulo *CityFurniture* do FME.

Figura 80 - FME Data Inspector – visualização das informações semânticas



Fonte: Elaborado pela autora.

Em seguida, os três arquivos gerados no FME no formato CityJson (postes com semântica, edificações e superfície) foram integrados em um único arquivo: o modelo geométrico e semântico do CFO da UFBA, no formato CityJson. O FME foi essencial na elaboração deste trabalho, pois permitiu a integração entre a geometria e a semântica por meio de seus módulos.

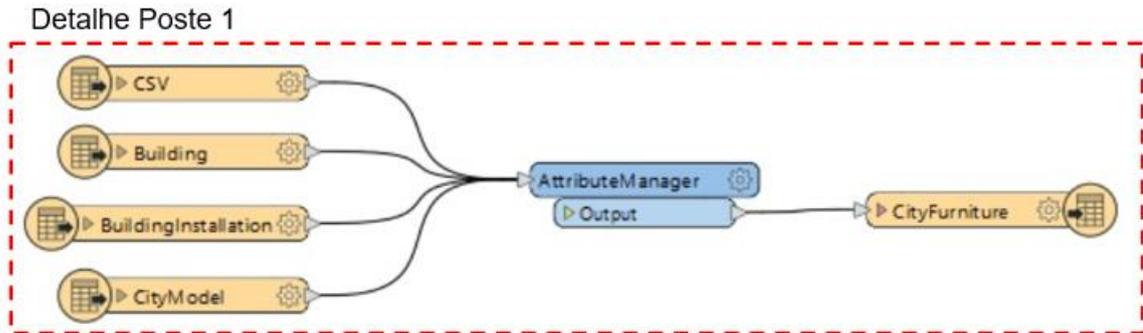
Este processo foi desenvolvido no módulo Workbench do FME, como demonstrado na Figura 82. Os cinco tipos de postes foram representados no módulo *CityFurniture*, as edificações no módulo *Building*, a superfície unificada⁷⁶ foi representada pelo módulo *CityObjectGroup* e o sistema de coordenadas no módulo *Metadata*.

A Figura 81 apresenta em detalhe o poste do tipo 1, que pertence ao módulo *CityFurniture* do FME, representado junto com os outros tipos de postes na Figura 82. A semântica de cada tipo de poste é representada pelo módulo CSV, o qual é composto por dados organizados em planilhas no formato Excel. Essas planilhas contêm informações específicas relacionadas a cada tipo de poste. O FME estabelece a ligação entre a planilha e a geometria por meio dos transformadores, nos quais os dados da planilha são atribuídos aos postes com base no transformador utilizado.

⁷⁶ Elementos (estacionamento, canteiro, passeio e arruamento) agrupados formando uma única estrutura.

Durante o processo de integração, alguns transformadores foram empregados, incluindo o *AttributeManager*, desempenhando um papel crucial na manipulação e organização dos dados para garantir a precisão e consistência das informações.

Figura 81 - Detalhe do Poste tipo 1 no módulo *CityFurniture* do FME



Fonte: Elaborado pela autora.

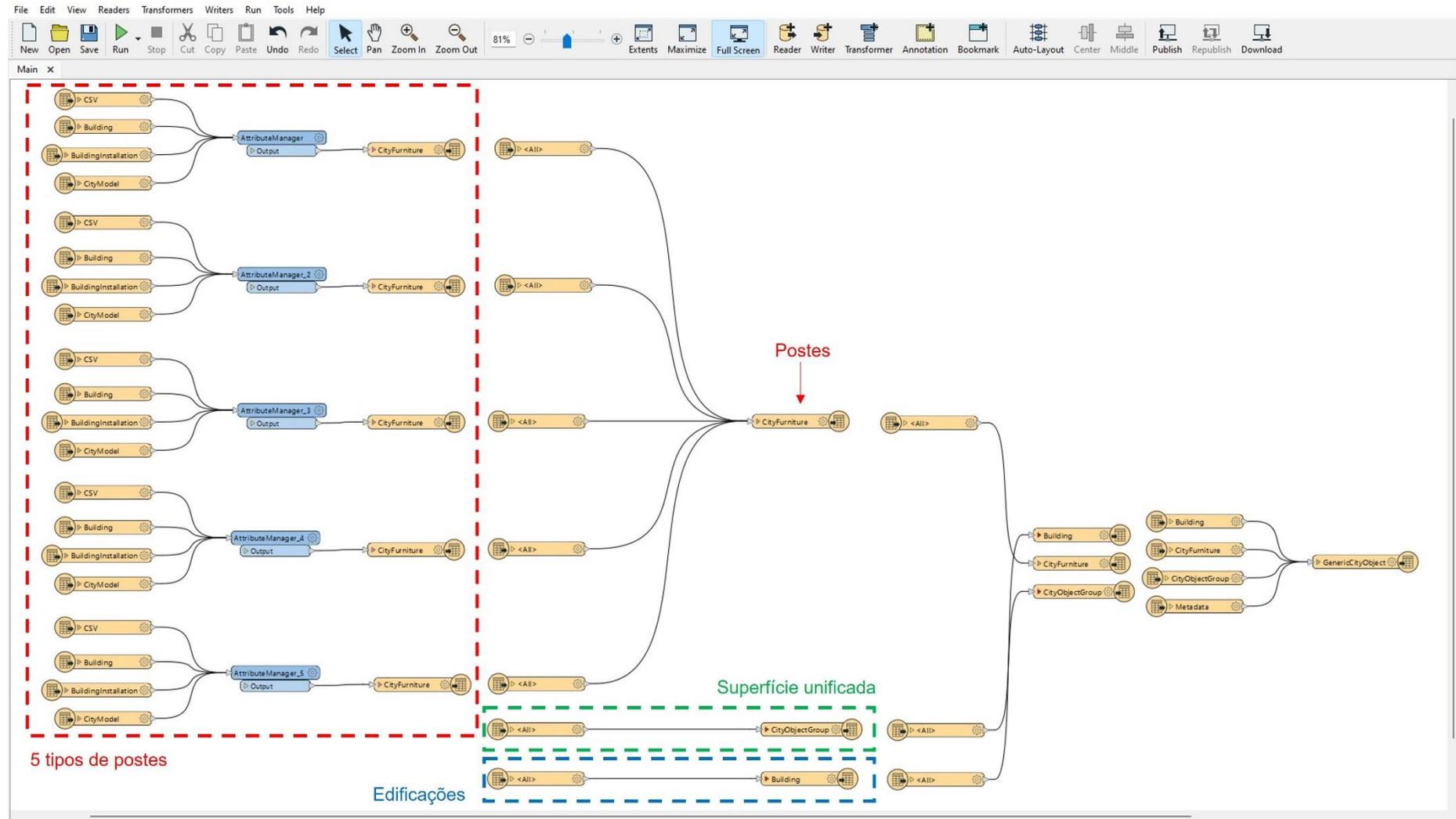
No módulo *Building*, que representa cada poste do tipo 1, a aplicação apresenta 8 postes desse tipo.

O módulo *BuildingInstallation* contém 32 elementos que representam a geometria do poste tipo 1.

No módulo *CityModel*, estão reunidos todos os postes do tipo 1, cada um representado como um dos 8 *Buildings*.

O processo ilustrado na Figura 82 resulta no arquivo contendo o modelo geométrico e semântico do CFO em formato CityJson, representado como módulo: *GenericCityObtect* do FME, contendo os cinco tipos de postes, a superfície unificada (estacionamento, canteiro, passeio e arruamento) e as edificações.

Figura 82 – Módulo Workbench do FME



Fonte: Elaborado pela autora.

Foram realizados testes de validação no Val3dity para os modelos dos postes, das edificações e da superfície do CFO, além do arquivo unificado que compõe o Modelo Geométrico e Semântico do CFO da UFBA (Quadro 21), todos no formato CityJson.

Quadro 21 - Validação do arquivo unificado - CFO_UFBA.JSON

Resumo de erros	
Número de primitivas 3D ⁷⁷	2012
Número de primitivas 3D inválidas	852
Número de recursos	2278
Número de recursos inválidos	1118

Fonte: Elaborado pela autora.

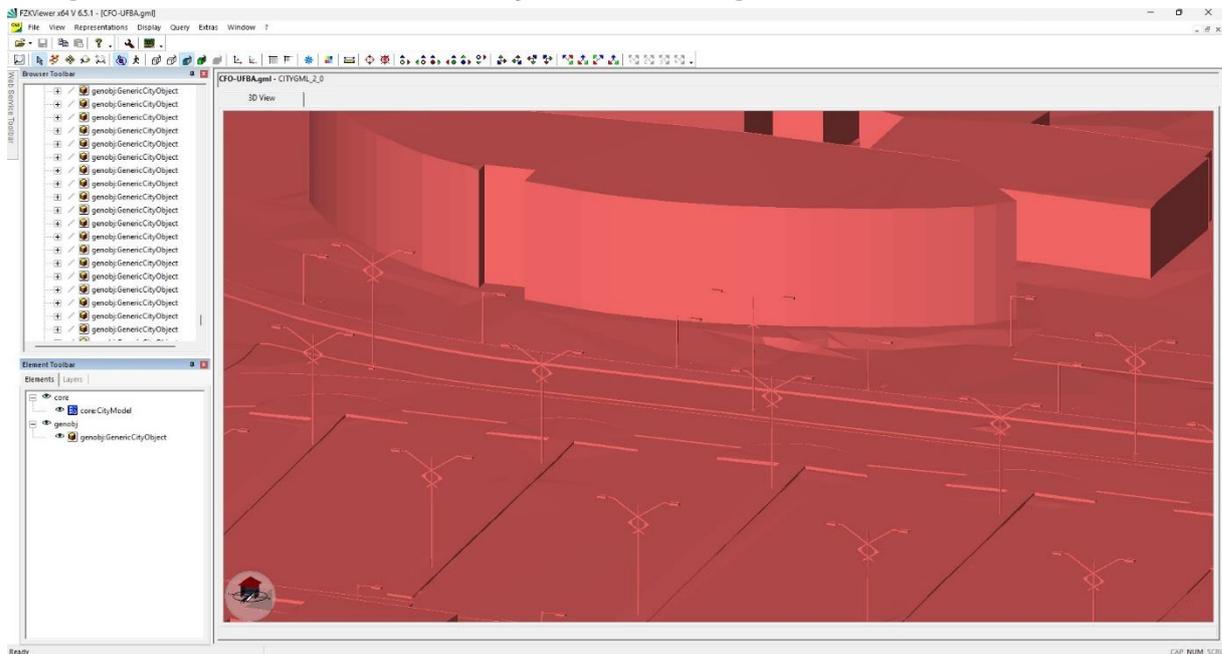
Durante a validação do arquivo unificado CFO_UFBA.JSON, os testes realizados no Val3dity não foram satisfatórios⁷⁸. Foram identificados os erros 102, 104, 303 e 305, conforme listagem de erros, apresentado na Figura 18.

Essencialmente, os erros encontrados estão relacionados à geometria. Por exemplo, o erro 102 indica a sobreposição de dois pontos consecutivos em um polígono, enquanto o erro 104 demanda que o polígono seja simples, sem interseções consigo mesmo, entre outros. Considerando que a aplicação foi gerada de forma automática, tais imprecisões na geometria dos elementos são esperadas. Vale ressaltar que o Modelo Geométrico e Semântico do CFO é composto por elementos complexos, incluindo terreno com relevo, vias, passeios, meio-fio, edificações, postes, entre outros. Essa complexidade torna a validação mais desafiadora. Apesar disso, foi possível visualizar o modelo geométrico e o semântico do CFO no padrão CityGML. Essa visualização foi possível tanto no FME Data Inspector (Figura 83 e Figura 84) quanto no FZKViewer (Figura 85).

⁷⁷ Primitivas 3D são formas geométricas básicas, como cubos, esferas, cilindros e cones, que são utilizados como blocos de construção de modelos mais complexos.

⁷⁸ Relatório completo da validação disponível em: <http://geovalidation.bk.tudelft.nl/val3dity/reports/0e771e42-2087-4ed9-985e-2ce74049a282>. Acesso em: 6 jun. 2023.

Figura 85 - FZKViewer: visualização do modelo geométrico e semântico do CFO



Fonte: Elaborado pela autora.

Neste trabalho, a construção do modelo desenvolvido no experimento não priorizou o fechamento da geometria ou a validação, pois o foco do estudo estava no sistema de iluminação pública e nas informações semânticas em um processo que seja mais automatizado possível.

5.2 DISCUSSÃO

Esta seção foi elaborada com o objetivo de analisar os resultados do experimento, visando evidenciar as contribuições e a simplificação do processo de modelagem. Propõe-se realizar uma análise comparativa dos desafios a serem superados em implementações de aplicações que fazem uso de modelos numéricos 3D de cidades enriquecidos semanticamente, conforme apresentada por Stoter *et al.* (2020). Esses desafios incluem a consistência, a padronização, a qualidade dos dados, a interoperabilidade, a manutenção e gestão dos dados e a implementação de novas tecnologias.

5.2.1 Consistência

No processo de criação do modelo geométrico e semântico do CFO da UFBA, foram empregados dados diversos, o que resultou em diferenças na aparência, geometria e

semântica. Além disso, a conversão para formatos distintos gerou discrepâncias nos procedimentos de transição entre os formatos CityGML e CityJson. Durante esse processo, ocorreram distorções, como a perda da textura dos postes, o que é comum em conversões entre softwares e formatos variados.

5.2.2 Padronização

Não foi realizado um processo manual de regularização dos polígonos das edificações, com o objetivo de automatizar ao máximo o processo de modelagem. Dessa forma, não houve preocupação com a padronização da geometria, o que inviabilizou a validação do modelo geométrico e semântico do CFO, devido à presença de diversos erros na geometria dos elementos.

O padrão CityJson foi utilizado como alternativa para minimizar as perdas de informações no processo de conversão para o padrão CityGML.

5.2.3 Qualidade dos dados

Havia inconsistências entre os desenhos das plantas de arquitetura, urbanismo, topografia e instalações elétricas devido a diferenças nos períodos e escalas de produção. Muitas medidas não conferiam entre si, o que levou à decisão de adotar o levantamento topográfico realizado em 2010.

Os erros identificados durante a validação do modelo CFO podem comprometer e restringir o compartilhamento entre diferentes softwares, especialmente para o desenvolvimento de outras aplicações que dependam do fechamento preciso dos polígonos das edificações ou da interação entre estas e a topografia.

Com o objetivo de representar os elementos que compõem o sistema de iluminação pública do CFO da UFBA, a fim de extrair informações que possam contribuir para a gestão, o modelo gerado automaticamente por meio da metodologia adotada atende às necessidades específicas da aplicação.

A qualidade dos dados que originaram o modelo geométrico e semântico do CFO não afetou a aplicação armazenada no banco de dados do SuperMap. Por exemplo, tanto a semântica quanto as texturas dos postes foram preservadas.

5.2.4 Interoperabilidade

Durante a implementação do modelo, ocorreram problemas com a textura e a semântica, o que dificultou a conversão para o padrão CityGML. Esses problemas levaram à necessidade de criar duas cenas distintas e exigiram ajustes no modelo. A Cena 1 preservou o modelo integral para ser trabalhado no SuperMap Desktop 10i como uma aplicação do SuperMap, enquanto a Cena 2 foi ajustada para ser convertida para o padrão CityGML, passando pelos softwares SuperMap iDesktopX 10i e pelo FME, conforme ilustrado na Figura 75. Nesta mesma etapa, também ocorreu a perda de semântica, exigindo a inserção das informações novamente no software FME.

O SuperMap está continuamente aprimorando os recursos relacionados ao padrão CityGML, como na versão iDesktopX 10i. Esse aprimoramento contribui para a melhoria da interoperabilidade e da integração de dados geoespaciais, promovendo um ambiente mais eficaz para o desenvolvimento e gerenciamento de projetos urbanos.

5.2.5 Manutenção e gestão dos dados

Quanto à gestão dos dados do modelo geométrico e semântico do CFO, a definição das equipes e dos acessos para realizar a manutenção de dados dependerá da disciplina a ser trabalhada. Isso deverá ser conduzido por um gestor responsável por controlar os acessos e os ajustes a serem realizados no modelo. A expectativa é ampliar o uso do modelo, abrangendo outras áreas da infraestrutura do *campus*.

O SuperMap é um repositório de informações que vem sendo implementado ao longo do tempo, funcionando de forma semelhante aos softwares para *Facilities Management*, sendo capaz de armazenar e gerenciar dados geoespaciais e informações relacionadas à infraestrutura, permitindo o controle, análise e visualização de dados essenciais para operações de FM.

5.2.6 Implementação de novas tecnologias

Apesar da complexidade do software FME, por causa da necessidade de utilizar linguagem de programação, foi possível conseguir a disponibilização de licenças de

utilização durante a execução do trabalho. Este se apresentou essencial na conversão dos arquivos e implementação da semântica no modelo.

Um recurso que talvez pudesse poupar tempo e diminuir alguns problemas de interoperabilidade, por usar softwares diferentes, seria o uso do *plugin* MyFME diretamente no SuperMap, mas não estava disponível no período da pesquisa.

Quanto à validação, inicialmente foram realizados testes no Val3dity, porém sem sucesso. Embora o software FME ofereça opções de validação, sua execução envolve uma série de processos, incluindo verificação de conformidade com padrões estabelecidos, a detecção de inconsistências e erros, e a avaliação da integridade dos dados. É importante destacar que essa função exige familiaridade com a ferramenta, além de um entendimento profundo dos padrões e requisitos necessários para validar dados geoespaciais. Devido à complexidade do software e das especificações que envolvem programação, a realização desses testes tornou-se inviável.

Durante o desenvolvimento do experimento foi possível notar vantagens e limitações na utilização de softwares. O Quadro 22 apresenta as vantagens dos softwares trabalhados.

Quadro 22 - Vantagens dos softwares trabalhados

Software	Vantagens
SuperMap	Integração de vários tipos de formatos de arquivos de geometria 2D e 3D em uma mesma plataforma.
	Simplificação da conversão de arquivos vetoriais 2D para modelos geométricos
	Versatilidade: em um mesmo software é possível produzir mapas em 2D e manipular cenas tridimensionais.
	As modificações realizadas nos arquivos inseridos na plataforma para o desenvolvimento da aplicação não alteram o arquivo original – manutenção do arquivo original.
	Compatibilidade com diferentes bancos de dados.
	Compatibilidade com diferentes bibliotecas (OpenLayers, Leaflet etc.) que permitem a produção de aplicações usando HTML e JavaScript.
	O modelo pode ser utilizado em diferentes aplicações e ser relacionado a bases de dados com informações dos objetos modelados.
FME	Ferramenta versátil, trabalha com vários formatos facilitando a conversão.
	Capacidade de lidar com grandes volumes de dados e suportar implementações em larga escala.
	Disponibiliza licença educacional.

Software	Vantagens
SketchUp	Ferramenta para modelagem geométrica amplamente utilizado, com interface intuitiva e recursos acessíveis.
	Oferece integração com outros softwares.
Val3dity	Ferramenta gratuita para testes de validação.
	Detecção de inconsistências

Fonte: Elaborado pela autora.

O Quadro 23 apresenta as limitações dos softwares trabalhados.

Quadro 23 - Limitações dos softwares trabalhados

Software	Limitações
SuperMap	Necessidade de conhecimento técnico avançado para explorar todo potencial da ferramenta.
	Não é uma ferramenta gratuita.
	Pouco material de apoio disponível, trabalhos publicados, dentre outros, a maioria em mandarim e inglês.
	Não há ainda uma comunidade fora da Ásia, que esteja avançada nos estudos e possa compartilhar experiências.
	Os arquivos são importados para o SuperMap em um conjunto de dados (<i>dataset</i> ⁷⁹) que ficam contidos em um <i>datasource</i> ⁸⁰ . O <i>dataset</i> e o <i>datasource</i> - são formatos de arquivos proprietários do SuperMap.
	A integração de arquivos CityGML ainda não está bem resolvida, por exemplo, não foi possível exportar os modelos com texturas, sendo necessário removê-las para realizar o procedimento e só foi possível exportar os arquivos no formato CityGML na versão iDesktopX 10i.
	As informações dos atributos dos objetos exportados como CityGML foram perdidas, foi preciso utilizar o software FME para realizar a compilação dos objetos da cena com as respectivas informações, para assim poder gerar o arquivo final em CityGML e CityJson.
Cenas esféricas com grande volume de dados necessitam de máquinas adequadas para o desenvolvimento das aplicações.	
FME	Exige tempo para testar diferentes recursos, é baseado em linguagem de programação, ou seja, requer conhecimento mais avançado.
	Não é uma ferramenta gratuita.
SketchUp	Não é uma ferramenta gratuita.

⁷⁹ *Dataset*: no SuperMap é a unidade básica para a organização de dados geoespaciais. Por exemplo: pontos, linhas, regiões, tabelas, redes (transporte ou distribuição), CAD, texto e imagem. Conjunto de dados relacionado a um tema ou tipo de feição.

⁸⁰ *Datasource*: no SuperMap é a unidade de armazenamento do *dataset*, que contém um ou mais conjuntos de dados, independente do espaço de trabalho, de diferentes tipos (pontos, linhas, tabelas etc.).

Software	Limitações
	Capacidade limitada de lidar com projetos complexos e detalhados, em comparação com softwares para modelagem geométrica mais avançados.
Val3dity	Dificuldade em lidar com grandes volumes de dados.
	Necessidade de grande conhecimento técnico para sua utilização eficaz.
	Restrições em lidar com geometrias complexas.

Fonte: Elaborado pela autora.

O Quadro 24 apresenta uma síntese das vantagens e limitações da aplicação desenvolvida.

Quadro 24 - Vantagens e limitações da aplicação

Vantagens	Limitações
Foi possível realizar testes de validação no Val3dity com o formato CityJson.	O arquivo no formato CityGML não foi reconhecido no software de validação Val3dity.
O CityJson é um formato versátil. A conversão pode ser bidirecional entre os padrões CityJson e CityGML.	Não é um modelo com validação, para poder ser utilizado em outras aplicações de outros softwares que necessitem de precisão da geometria.
A aplicação desenvolvida no SuperMap atende ao propósito de obter informações para a atividade de gestão do sistema de iluminação pública.	Para converter o modelo em CityGML foi preciso passar por vários programas, ocasionando perdas durante o processo.
O modelo geométrico e semântico do CFO em LOD1 apresenta edificações, sistema viário, sistema de iluminação pública. Adequado para visualização no FME e FZKViewer, além de estar disponível em ambiente virtual como aplicação do SuperMap.	A aplicação na etapa 3 é um formato de arquivo proprietário do SuperMap.

Fonte: Elaborado pela autora.

Além das limitações e vantagens dos softwares utilizados no desenvolvimento do experimento e das vantagens e limitações da aplicação desenvolvida, o Quadro 25 apresenta uma análise comparativa entre as etapas 3 e 4 da aplicação levando em consideração os desafios de Stoter *et al.* (2020).

Quadro 25 - Comparação entre as etapas 3 e 4 da aplicação

Desafios	Aplicações	
	Etapa 3	Etapa 4
Consistência	✓ A utilização de um mesmo software (SuperMap) resultou em	✓ O uso de diferentes softwares e formatos pode afetar a

Desafios	Aplicações	
	Etapa 3	Etapa 4
	maior consistência do modelo geométrico e semântico 3D do CFO.	consistência do modelo geométrico e semântico 3D.
Padronização	<ul style="list-style-type: none"> ✓ As inconsistências geométricas não afetam os resultados, mesmo sem testes de validação. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ A falta de padronização do modelo geométrico e semântico 3D do CFO inviabilizou os testes de validação.
Qualidade de dados	<ul style="list-style-type: none"> ✓ A semântica e as texturas foram preservadas no SuperMap; ✓ Foram adicionadas novas informações semânticas sobre a estimativa de consumo de energia elétrica por tipo de poste no modelo geométrico e semântico 3D do CFO. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ A semântica foi reinsertada e a textura precisou ser retirada; ✓ Erros de validação podem limitar o uso do modelo geométrico e semântico 3D do CFO em outras aplicações. No entanto, ele atendeu ao objetivo da aplicação proposta.
Interoperabilidade	<ul style="list-style-type: none"> ✓ A Cena 1 preservou o modelo integral para ser desenvolvida a aplicação no SuperMap iDesktop 10i; ✓ Formato de arquivo exclusivo do SuperMap. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ A textura dos postes precisou ser removida para salvar a Cena 2 na etapa 2. Provavelmente devido à falta de interoperabilidade; ✓ A semântica teve que ser reinsertada; ✓ Utilização de softwares variados para desenvolvimento e conversão de formatos diferentes.
Manutenção e gestão de dados	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Utilizar um software, mesmo com apoio de <i>plugins</i>, pode vir a facilitar o processo de manutenção e gestão de dados; ✓ SuperMap atua como um repositório de informações o que facilita o processo de gestão de dados. 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ A utilização de softwares diferentes requer um controle maior para a gestão e manutenção de dados.
Implementação de novas tecnologias	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Informações sobre a estimativa de consumo de energia elétrica por tipo de poste em um período específico; 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ É preciso viabilizar a utilização de <i>plugins</i> do FME no SuperMap; ✓ Seria interessante utilizar o recurso de validação no FME.

Desafios	Aplicações	
	Etapa 3	Etapa 4
	✓ Aplicações futuras utilizando o mesmo modelo geométrico e semântico 3D do CFO.	

Fonte: Elaborado pela autora.

Em relação à gestão de energia, a tendência é avançar ainda mais no âmbito das tecnologias que dão suporte ao monitoramento da rede elétrica. Ferramentas como SCADA, EMS, DMS, medidores inteligentes, *Internet of Things* (IoT) e *Machine Learning* estão se tornando cada vez mais essenciais para garantir a eficiência e a segurança da infraestrutura elétrica. Essas tecnologias permitem uma supervisão em tempo real, análise preditiva e automação de processos, o que é fundamental para lidar com a complexidade crescente das redes elétricas modernas.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É possível observar uma crescente demanda por representar os métodos e ferramentas utilizadas na gestão das cidades, o que desencadeia a busca por novas soluções e alternativas para melhorar a qualidade e a eficiência da tomada de decisões. A modelagem da informação urbana pode expandir a forma como pensamos sobre as cidades, oferecendo contribuições significativas nas áreas de planejamento, projeto, gerenciamento e nas demandas impostas pelo crescimento, especialmente em relação à infraestrutura urbana.

Sem dúvida, a infraestrutura urbana constitui um sistema dinâmico que engloba diversas disciplinas e partes interessadas, o que torna desafiador tomar decisões relacionadas ao planejamento, operação e manutenção. É crucial que tais decisões sejam respaldadas por informações precisas e atualizadas de forma contínua.

A partir do levantamento bibliográfico realizado durante a pesquisa foi possível definir o modelo numérico 3D de cidade, apontar suas características, técnicas de aquisição e finalidades, além dos assuntos pertinentes ao objeto de trabalho e infraestrutura urbana.

Quando há a necessidade de expandir as aplicações que utilizam o modelo numérico 3D de cidade, indo além de uma abordagem de visualização ou exploração gráfica da paisagem urbana, é essencial enriquecê-lo com informações para transformá-lo em um modelo geométrico e semântico da cidade. Isso envolve a inclusão de classes temáticas, atributos e interrelações.

Modelos numéricos 3D de cidades geralmente representam áreas extensas, reunindo diversos dados distintos e softwares variados, ocasionalmente levando a uma série de inconsistências em geometria, aparência e semântica, que podem ou não interferir no resultado. A depender do objetivo da aplicação, é importante saber qual a finalidade do modelo, para assim definir os métodos e softwares mais apropriados.

6.1 CONCLUSÕES

Este trabalho contemplou o estudo de tecnologias capazes de auxiliar e otimizar a gestão do sistema de iluminação pública do Campus Federação Ondina da UFBA, identificando a necessidade de um “cadastro” que pudesse reunir informações atualizadas, úteis para a manutenção e operação da rede.

Um fator crucial na seleção dos softwares utilizados foi a capacidade de representar fielmente o terreno, incluindo seu relevo característico, bem como as edificações e o sistema de iluminação pública. Isso se deve ao fato de que a localização dos postes e caixas de passagem, juntamente com a rede de eletrodutos, segue o relevo natural, com variações de cotas de implantação. Essas informações são essenciais para a realização de orçamentos, planejamento de reformas, manutenção e levantamento de consumo. Além disso, possibilitam a prospecção de alterações na rede, visando potencialmente reduzir os gastos com energia elétrica.

Na etapa de levantamento de dados foram coletadas informações distintas e incongruentes, como os projetos de urbanismo do *campus*, que não estavam alinhados com os projetos de elétrica. Essa disparidade nos dados iniciais teve um impacto considerável em relação ao tempo necessário para ajustar os projetos que serviram de base para a localização das edificações e postes, porém, na época do desenvolvimento do trabalho eram os recursos disponíveis.

Os postes foram inicialmente modelados por tipo no SketchUp, com um nível de detalhe mais alto, e passaram por uma simplificação, visando reduzir possíveis erros ou carregamentos desnecessários. É importante ressaltar que a inserção dos postes utilizando recursos de atributos de rotação foi uma metodologia utilizada nesta aplicação, sem precedentes.

O modelo geométrico do CFO enriquecido semanticamente, contém informações como: localização com latitude e longitude de cada poste com o ID e informações de estimativa de consumo de energia elétrica; caixas de passagem; materiais de fabricação; acabamentos; sistemas de acionamento das luminárias; tipo de lâmpadas, potência e quantidade por luminária; altura do poste e das luminárias; dimensão dos braços que suportam as luminárias; identificação dos circuitos elétricos por fase; tipo

de eletroduto; localização da subestação que alimenta a rede do trecho específico trabalhado.

O desenvolvimento do modelo de forma mais automatizada, utilizando a diferença entre o MDS e o MDT, onde as edificações são representadas por polígonos e o terreno é baseado em informações de uma planta topográfica georreferenciada, resultou no uso do processo de extrusão dos polígonos que representam as edificações. Embora esse método possa ter gerado algumas incongruências na geometria, foi adotado devido à necessidade de lidar com áreas extensas, tornando inviável realizar a extrusão de cada edificação separadamente.

Outra contribuição da pesquisa foi considerar módulos diferentes do CityGML utilizados no FME: o *CityFurniture* para representar os postes; o *Building* para as edificações; o *CityObjectGroup* para representar o terreno, arruamento, passeios, estacionamento e canteiros; o *Metadata* para representar as coordenadas e o CSV para representar a semântica, visto que, a maioria dos trabalhos pesquisados utilizam apenas o módulo *Building* do CityGML.

A aplicação apresentou a limitação por não ter validado o padrão CityGML, no entanto, o modelo CFO enriquecido semanticamente é composto pelo terreno, edificações, postes, caixas, eletrodutos, cabeamento e semântica.

Os erros de validação podem impedir que os conjuntos de dados sejam usados em outros softwares ou para aplicações avançadas. A reparação manual dos erros para corrigir problemas de validação podem continuar sendo um método utilizado por um bom tempo, porém, em grandes áreas, é necessário reconsiderar essa prática. O foco não deve ser apenas a quantidade de erros, mas sim identificar aqueles que têm maior impacto em tipos específicos de aplicações. Por exemplo, para aplicações de visualização, os erros provavelmente não interferirão nos resultados desejados, mas para aplicações que necessitam de geometria precisa, como estudos sobre o fluxo de ar em uma cidade utilizando dinâmica de fluidos computacionais, a validação se torna essencial.

Esses erros podem também interferir quando se pretende utilizar o armazenamento em banco de dados, fazer a manutenção dos dados e realizar a conversão para outros

formatos. Durante o desenvolvimento da aplicação do modelo operacional do CFO, ocorreram uma série de incompatibilidades, especialmente entre os softwares e formatos convertidos, o que posteriormente se revelou ser um problema de interoperabilidade de dados. Nesse sentido, o padrão que apresentou melhor desempenho, pelo menos para tentar solucionar esses problemas, foi o CityJson, que se mostra como uma opção de formato para lidar com as questões relacionadas ao CityGML.

Mesmo sem a validação completa, foi possível gerar o modelo operacional do sistema de iluminação do CFO no padrão CityGML para visualização no FME e FZKViewer. Além disso, no próprio SuperMap é possível visualizar o modelo e extrair informações, ou por meio de um *link*, particular da UFBA e da Geoespaço, é possível interagir com o mesmo no *website*. A aplicação disponibiliza uma série de informações úteis em diversas etapas da gestão do sistema de iluminação do *campus*. É viável identificar qual subestação atende a cada circuito de poste, a localização dos postes com identificação individual e consumo por tipo, material utilizado na fabricação dos postes e caixas de passagem, tipos de cabos e fases identificadas por cores, além de outras informações relevantes.

Acredita-se que os desenvolvedores de softwares estão empenhados em expandir cada vez mais os recursos das ferramentas para gerar modelos numéricos 3D de cidade, mas ainda existem diversas lacunas para serem contornadas, para facilitar esse procedimento.

No processo de gestão de equipamentos, utilitários ou serviços vinculados à infraestrutura urbana, tecnologias como as apresentadas neste trabalho demonstram ser de suma importância. É fundamental ter conhecimento da disposição desses equipamentos no meio urbano, das informações sobre sua natureza, sua relação com o uso do solo e seu vínculo com o processo de manutenção, a fim de monitorar seu desempenho e consumo, avaliar a necessidade de intervenções e potencializar a tomada de decisões.

Em um processo de gestão de energia, no caso de uma instituição como a UFBA, seria preciso:

- Definir os responsáveis pelo sistema, por exemplo, instaurar uma Comissão para Assuntos de Conservação de Energia (CACE), com transparência, autoridade e autonomia, conhecimento técnico e apoio dos envolvidos;
- Estabelecer objetivos e metas claras, que sejam:
 - Específicas (indicando onde a economia de energia será realizada);
 - Mensuráveis (com indicadores que quantifiquem a economia planejada);
 - Atingíveis (definindo metas realistas e alcançáveis);
 - Relevantes (beneficiando as pessoas e incentivando o comprometimento); e
 - Temporais (com prazos determinados para cumprimento).

É crucial considerar a complexidade envolvida na avaliação e gestão das infraestruturas urbanas, devido às inúmeras variáveis técnicas, econômicas, sociais e institucionais inerentes a esse processo.

6.2 TRABALHOS FUTUROS

O modelo operacional do sistema de iluminação pública do CFO desenvolvido nesta pesquisa pode ser aprimorado e utilizado em outras aplicações, que não dependam de uma geometria afinada exigida em aplicações mais apuradas. A aplicação poderá vir a ser aprimorada por outros usuários e como sugestão para trabalhos futuros é possível:

- Avançar os estudos de sistemas que utilizam sensores ligados a dados dinâmicos em tempo real, tais como valores de consumo medidos por contadores inteligentes instalados em subestações que façam parte da área de interesse, para o monitoramento e gerenciamento das infraestruturas de instalações elétricas;
- A inclusão de informações como a vida útil das lâmpadas, código dos produtos, fornecedor, índice de iluminância, histórico de manutenções

realizadas, entre outros, é fundamental para o processo de gestão de manutenção e controle da eficiência energética do *campus*.

- Acrescentar ao modelo informações dos outros sistemas de infraestrutura urbana, por exemplo: drenagem, esgoto, segurança, água potável etc.;
- Estudo de áreas propensas a alagamento, e sugerir soluções de problemas reais de drenagem do Campus Federação Ondina da UFBA;
- Expandir os estudos sobre softwares que possam automatizar ao máximo o processo de desenvolvimento de modelos numéricos 3D de cidades;
- Avançar as aplicações na área de eficiência energética e realizar estudos de sombras que possam interferir na implantação de sistemas que captam energia solar;
- Ampliar os estudos na utilização das extensões do padrão CityGML para a área de *Facilities Management*.

REFERÊNCIAS

ABBASABADI, Narjes; ASHAYERI, Mehdi. Urban energy use modeling methods and tools: A review and an outlook. **Building and Environment**, v. 161, n. 106270, p. 1-16, 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106270>.

ABBURU, Sunitha. Geospatial Semantic Query Engine for Urban Spatial Data Infrastructure. **International Journal on Semantic Web and Information Systems**, [s. l.], v. 15, n. 4, p. 31-51, out. 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.4018/ijswis.2019100103>.

AGUGIARO, Giorgio; ROBINEAU, Jean Loup; RODRIGUES, Preston. Project CI-ENERGY: towards an integrated energy urban planning system from a data modelling and system architecture perspective. **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 4, p. 5-12, 2017.

AHMED, Waqar; ANSARI, Hammad; KHAN, Bilal; ULLAH, Zahid; MUHAMMAD ALI, Sahibzada; MEHMOOD, Chaudhry Arshad Arshad; QURESHI, Muhammad B.; HUSSAIN, Iqrar; JAWAD, Muhammad; KHAN, Muhammad Usman Shahid; ULLAH, Amjad; NAWAZ, Raheel. Machine learning based energy management model for smart grid and renewable energy districts. **IEEE Access**, v. 8, p. 185059-185078, 2020.

AKMALIAA, R.; SETAN, H.; MAJID, Z.; SUWARDHI, D. Representing 3D model of building from TLS data scanning in CityGML. **Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)**. Malaysia: Penerbit UTM Press Universiti Teknologi Malaysia, v. 71, n. 4, p. 47–51, 2014.

ALKAN, Mehmet; SÜRMELELİ, Hicret Gürsoy. 3D cadastral standard definition and development using international standards for Turkey cadastral system. **Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi**, v. 7, n. 1, p. 70-85, 2020.

ALMEIDA, Fernando; ANDRADE, Max. A integração entre BIM e GIS como ferramenta de gestão urbana. *In: ENCONTRO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO*, 7., 2015, Recife. **Anais [...]**. Porto Alegre: ANTAC, 2015. p. 371-383.

ÁLVAREZ, M.; RAPOSO, J. F.; MIRANDA, M.; BELLO, A. B. Metodología de Generación de Modelos Virtuales Urbanos 3D para ciudades inteligentes. **Informes de la Construcción**, [s. l.], v. 70, n. 549, p. e237, jan./mar. 2018. DOI: 10.3989/id.56528. Disponível em: <https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/view/5895>. Acesso em: 16 mai. 2024.

AMORIM, A. L. (Coord.); Roberta, P. T.; Luana Micaela, de C. G.; Nicole, G. F. S. Modelagem do campus Ondina-Federação para múltiplos propósitos, Relatório Parcial. Salvador, 2019.

AMORIM, Arivaldo Leão de. **ARQB30 – Modelagem da Informação da Cidade**. Notas de Aula da disciplina Modelagem da Informação da Cidade. Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2018.

AMORIM, Arivaldo Leão de. Cidades Inteligentes e City Information Modeling. *In: CONGRESO DE LA SOCIEDAD IBEROAMERICANA DE GRÁFICA DIGITAL*, 20., 2016, Buenos Aires, Argentina. **Anais [...]**. São Paulo: Blucher, 2016. p. 481-488. ISSN 2318-6968, DOI 10.5151/despro-sigradi2016-440.

AMORIM, Arivaldo Leão de. Discutindo City Information Modeling (CIM) e conceitos correlatos. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Paulo, v. 10, n. 2, p. 87-99, jul./dez.

2015. Disponível em: <http://dx.doi.org.br/10.11606/gtp.v10i2.103163>. Acesso em: 11 jan. 2019.

ANDRADE, Carlos Roberto Monteiro de; PAVESI, Alessandra. O planejamento de campi universitários como prática participativa e educativa. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais (RBEUR)**, v. 14, n. 1, p. 187-196, 31 maio 2012. DOI 10.22296/2317-1529.2012 v14n1 p187.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14653-2**: Avaliação de bens - Parte 2: Imóveis urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 2011. 54 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 41011**: *Facility management* – Vocabulário. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 15 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 50001**: Sistemas de gestão da energia – Requisitos com orientação para uso. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 34 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO/TR 41013**: *Facility management* – Escopo, conceitos-chave e benefícios. Rio de Janeiro: ABNT, 2019. 8 p.

BAHU, Jean-Marie; KOCH, Andreas; KREMERS, Enrique; MURSHED, Syed Murshed. Towards a 3D Spatial Urban Energy Modelling Approach. **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 2, p. 33-41, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-2-W1-33-2013>. Acesso em: 8 out. 2023.

BATTY, Michael. Cities, complexity, and emergent order. **A Science of Cities**, [s. l.], v. 11, n. 5, p. 28-30, 5 sep. 2011. Disponível em: <http://www.complexcity.info/2011/09/05/cities-complexity-and-emergent-order/>. Acesso em: 31 jul. 2020.

BECKER, Thomas; NAGEL, Claus; KOLBE, Thomas Heinrich. Integrated 3D modeling of multi-utility networks and their interdependencies for critical infrastructure analysis. *In*: KOLBE, Thomas Heinrich; KÖNIG, Gerhard; NAGEL, Claus (ed.). **Advances in 3D Geo-Information Sciences**: Lecture notes in geoinformation and cartography. Berlin, Heidelberg: Springer, 2011. p. 1-24.

BEIL, Christof; KENDIR, Murat; RUHDORFER Roland; KOLBE, Thomas H. Dynamic and web-based 4D visualization of streetspace activities derived from traffic simulations and semantic 3D city models. **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 10, p. 29-36, 2022.

BEIL, Christof; KOLBE, Thomas Heinrich. CityGML and the streets of New York: A proposal for detailed street space modelling. **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. IV-4/W5, p. 9-16, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-4-W5-9-2017>. Acesso em: 22 abr. 2022.

BEIL, Christof; RUHDORFER, Roland; CODURO, Theresa; KOLBE, Thomas Heinrich. Detailed Streetspace Modelling for Multiple Applications: Discussions on the proposed CityGML 3.0 transportation model. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 9, n. 10, p. 603, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijgi9100603>. Acesso em: 1 abr. 2022.

BERTONCINI, Massimo. Multi-resource optimized smart management of urban energy infrastructures for improving smart city energy efficiency. *In*: INTERNATIONAL

CONFERENCE ON SMART CITIES AND GREEN ICT SYSTEMS (SMARTGREENS), 4., 2015, Lisboa. **Proceedings** [...]. Lisboa: Scitepress, 2015. p. 107-114. Disponível em: <https://doi.org/10.5220/0005499001070114>. Acesso em: 17 jul. 2020.

BIANCO, Vincenzo; MANCA, Oronzio; NARDINI, Sérgio. Electricity consumption forecasting in Italy using linear regression models. **Energy**, [s. l.], v. 34, n. 9, p. 1413-1421, 2009. DOI 10.1016/j.energy. 2009.06.034.

BILJECKI, Filip; LEDOUX, Hugo; DU, Xin; STOTER, Jantien; SOON, K. H.; KHOO, V. H. S. The most common geometric and semantic errors in CityGML datasets. **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 4, p. 13-22, 2016.

BILJECKI, Filip; LEDOUX, Hugo; STOTER, Jantien. An improved LOD Specification for 3D building models. **Computers, Environment and Urban Systems**, v. 59, p. 25-27, 2016.

BILJECKI, Filip; STOTER, Jantien; LEDOUX, Hugo; ZLATANOVA, Sisi; ÇÖLTEKIN, Arzu. 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 10.3390/ijgi4042842.

BIM Dictionary. **Building Information Modeling**. 2022a. Disponível em: <https://bimdictionary.com/terms/search>. Acesso em: 7 out. 2022.

BIM Dictionary. **Facility Management**. 2024a. Disponível em: <https://bimdictionary.com/terms/search>. Acesso em: 25 jan. 2024.

BIM Dictionary. **Interoperability**. 2021. Disponível em: <https://bimdictionary.com>. Acesso em: 22 jun. 2021.

BIM Dictionary. **Ontology**. 2022b. Disponível em: <https://bimdictionary.com/terms/search>. Acesso em: 7 out. 2022.

BLEIFUß, Rosina; DONAUBAUER, Andreas; LIEBSCHER, Jan; SEITL, Markus. Entwicklung einer CityGML: Erweiterung für das Facility Management am Beispiel Landeshauptstadt München. *In*: SYMPOSIUM UND FACHMESSE FÜR ANGEWANDTE GEOINFORMATIK (AGIT), 21., 2009, Salzburg. **Proceedings** [...]. Salzburg: Heidelberg, 2009. p. 122-131.

BOBKOWSKA, Katarzyna *et al.* GIS three-dimensional Modelling with geo-informatics techniques. *In*: Environmental Engineering, 2017, Vilnius Gediminas Technical University, Lithuania. **Environmental Engineering**. [S. l.]: VGTU Technika, 2017. p. 1-8.

BOONLUA, Tarawut. Smart Cities in Thailand: The application to a historical site. **Supermap Communications: a stronger SuperMap through collaboration, Beijing**, v. 2, p. 8, nov. 2021.

BORRMANN, André; KOLBE, Thomas Heinrich; DONAUBAUER, Andreas; STEUER, Horst; JUBIERRE, Javier; FLURL, Matthias. Multi-Scale Geometric-Semantic Modeling of Shield Tunnels for GIS and BIM Applications. **Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering**, v. 30, n. 4, p. 263-281, 2015. DOI 10.1111/MICE.12090.

BRANDLI, Luciana Londero; FRANDOLOSO, Marcos Antônio Leite; RODRIGUES, Felipe de Brito; CECONELLO, Vanessa. A sustentabilidade Ambiental na infraestrutura de um campus universitário: Ações. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 12., 2008, Fortaleza. **Anais eletrônicos** [...]. Fortaleza: Associação

Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído, 2008. Disponível em: http://www.infohab.org.br/entac/entac2008_artigos.html. Acesso em: 20 jul. 2017.

BRASIL. **Análise sobre a expansão das Universidades Federais de 2003 a 2012**. Relatório da Comissão Constituída pela Portaria nº 126/2012. Brasília, DF, 2012.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília, DF: Senado, 1988. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 8 out. 2023.

BRASIL. Decreto n. 8.666, de 21 de jun. de 1993. **Normas para licitações e contratos da Administração Pública**. Brasília, DF, ago. 2020.

BUILDING SMART International. **Standards**: Industry Foundation Classes. 2021. Disponível em: <https://technical.buildingsmart.org/standards/ifc>. Acesso em: 22 jun. 2021.

BUILDING TECHNOLOGY & URBAN SYSTEMS DIVISION. **Urban Science**. Disponível em: <https://buildings.lbl.gov/urban-science/tools>. Acesso em: 19 out. 2022.

CAPPELLE, Cindy; NAJJAR, Maan E. El; CHARPILLET, François; POMORSKI, Denis. Virtual 3D City Model for Navigation in Urban Areas. **Journal Of Intelligent & Robotic Systems**, [s. l.], v. 66, n. 3, p. 377-399, 8 jul. 2011. Springer Science and Business Media LLC. DOI 10.1007/s10846-011-9594-0.

CARETO, H.; VENDEIRINHO, R. **Sistemas de Gestão Ambiental em Universidades**: Caso do Instituto Superior Técnico de Portugal. Relatório Final de Curso, p. 2002-2003, 2003.

CARRILHO, André Caceres. **Aplicação de técnicas de processamento e análise de imagens para detecção de edificações e vegetação a partir de dados LiDAR**. 2016. 72 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia) - Universidade Estadual Paulista, São Paulo, SP, 2016.

CAVALCANTI FILHO, J. P.; SILVA, J. A. A.; LEAL, S. S. A economia de energia elétrica na iluminação pública com o uso de lâmpadas LED: Estudo de caso da avenida Recife. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 7, n. 11, p. 1–21, 2021. DOI: 10.51891/rease.v7i11.2989. Disponível em: <https://www.periodicorease.pro.br/rease/article/view/2989>. Acesso em: 11 set. 2023.

CENTENO, Jorge Antonio Silva; MITISHITA, Edson Aparecido. Laser scanner aerotransportado no estudo de áreas urbanas: A experiência da UFPR. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais** [...]. Florianópolis: INPE, 2007. p. 3645-3652.

CHALAL, Moulay Larbi; BENACHIR, Medjdoub; WHITE, Michael; SHRAHILY, Raid. Energy planning and forecasting approaches for supporting physical improvement strategies in the building sector: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 64, p. 761-776, 14 jul. 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.040>. Acesso em: 19 ago. 2021.

CHATURVEDI, K.; KOLBE, T. H. Integrating dynamic data and sensors with semantic 3d city models in the context of smart cities. **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 4, p. 31-38, 2016.

CHAUI, Marilena. O exercício e a dignidade do pensamento: o lugar da universidade brasileira. **Palestra realizada durante o Congresso Virtual UFBA**, 2021.

CITYCIM. **CitySim Software**. Disponível em: <https://www.epfl.ch/labs/leso/transfer/software/citysim/>. Acesso em: 18 out. 2022.

CITYDOCTOR. 2022. Disponível em: <https://transfer.hft-stuttgart.de/pages/citydoctor/citydoctorhomepage/en/>. Acesso em: 21 mar. 2024.

CITYGMLWiki. **Freeware**. 2022. Disponível em: <https://www.citygmlwiki.org/index.php?title=Freeware>. Acesso em: 5 out. 2022.

CITYJSON. **What is CityJSON?** Disponível em: <https://www.cityjson.org>. Acesso em: 6 jun. 2023.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). **Saneamento nas comunidades**. 22 set. 2021. Disponível em: <https://site.sabesp.com.br/site/impressao/noticias-detalhe.aspx?secaold=66&id=8598>. Acesso em: 7 maio 2024.

CONSTRUCTIBLE. **Next in BIM: City Information Modeling (CIM)**, ago. 2018. Disponível em: <https://constructible.trimble.com/construction-industry/next-in-bim-city-information-modeling-cim>. Acesso em: 24 jan. 2024.

DEMBSKI, Fabian; WÖSSNER, Uwe; LETZGUS, Mike; RUDDAT, Michael; YAMU, Claudia. Urban digital twins for smart cities and citizens: The case study of Herrenberg, Germany. **Sustainability**, v. 12, n. 6, p. 1-17, 16 mar. 2020. DOI 10.3390/SU12062307.

EASTMAN, Charles M.; TEICHOLZ, Paul M.; SACKS, Rafael. **BIM Handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors**. 2. ed., New Jersey: John Wiley & Sons, 2011. ISBN 9780470541371.

ELFOULY, Mostafa; KUTZNER, Tatjana; KOLBE, Thomas Heinrich. General Indicator Modeling for Decision Support based on 3D City and Landscape Models using Model Driven Engineering. *In: Peer Reviewed Proceedings [...]*. 2015.

ENERGYPLAN. **Advanced energy system analysis computer model**. Disponível em: <https://www.energyplan.eu>. Acesso em: 18 out. 2022.

ENGIE. **Eficiência da iluminação pública gera economia de até 70%**. 3 maio 2021. Disponível em: <https://www.alemdaenergia.com.br/eficiencia-da-iluminacao-publica-gera-economia-de-ate-70/>. Acesso em: 28 maio 2021.

ESRI. **O que é GIS?** 2022. Disponível em: <https://www.esri.com/pt-br/what-is-gis/overview>. Acesso em: 10 out. 2022a.

ESRI. **Parceiros Esri: novafactory**. 2022. Disponível em: www.esri.com/partners/moss-computer-grafik-a2T70000000TNZLEA4/novafactory-a2d70000000VLiCAAW. Acesso em: 1 out. 2022b.

ESTEVES, Juliana Cardoso. **Planejamento e gestão do ambiente construído em universidades públicas**. 2013. 181 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Exatas e da Terra) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2013.

ESTEVEES, Juliana Cardoso; FALCOSKI, Luiz Antônio Nigro. Gestão do processo de projetos em universidades públicas: Estudos de caso. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 67-87, 2013. DOI 10.11606/gtp.v8i2.80950.

FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS (FINEP). **O que são os Fundos Setoriais**. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/a-finep-externo/fndct/estrutura-orcamentaria/o-que-sao-os-fundos-setoriais>. Acesso em: 14 ago. 2020.

FME. **Why FME**. Disponível em: <https://www.safe.com/fme/>. Acesso em: 29 set. 2022.

FREIRE, Rodrigo Argenton. **Infraestrutura urbana**. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2017. 200 p. ISBN 978-85-8482-850-0.

GENERAL SERVICES ADMINISTRATION. **GSA BIM Guide for Facility Management**. Version 1. Washington: U.S. Office of Design and Construction Public Buildings Service, 2011. Disponível em: https://www.gsa.gov/cdnstatic/largedocs/BIM_Guide_Series_Facility_Management.pdf. Acesso em: 28 jul. 2020

GEOPLEX. **PlexMap**. 2022. Disponível em: www.geoplex.de. Acesso em: 3 out. 2022.

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, Antônio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

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.

GIM International. **OGC Adopts City Geography Markup Language v2.0**. [S. l.]: Geomares. 27 abr. 2012. Disponível em: <https://www.gim-international.com/content/news/ogc-adopts-city-geography-markup-language-v2-0>. Acesso em: 9 set. 2021.

GROETELAARS, N. J. **Criação de modelos BIM a partir de “nuvens de pontos”**: estudo de métodos e técnicas para documentação arquitetônica. 2015. 372 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

GROETELAARS, N. J.; NASCIMENTO, A. M.; AMORIM, A. L. Modelagem geométrica de cidades a partir de nuvens de pontos. **Revista Brasileira de Expressão Gráfica**, v. 8, n. 1, p. 110-129, 2020.

GRÖGER, Gerhard; KOLBE, Thomas H.; NAGEL, Claus; HÄFELE Karl-Heinz. **OGC City Geography Markup Language (CityGML) En-coding Standard**. v. 2.0. 2012. 326 p. Disponível em: <http://www.opengis.net/spec/citygml/2.0>. Acesso em: 25 jun. 2021.

GRÖGER, Gerhard; PLÜMER, Lutz. CityGML: Interoperable semantic 3D city models. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 71, p. 12-33, 2012. DOI 10.1016/j.isprsjprs.2012.04.004.

HARRIE, Lars; OLSSON, Per-Ola; HUANG, Weiming; SUN, Jing. Using BIM Data Together with City Models: Exploring the Opportunities and Challenges. **GIM International**, [s. l.], n. 7, p. 27-29, 18 out. 2021. Disponível em: <https://www.gim-international.com/content/article/using-bim-data-together-with-city-models>. Acesso em: 7 out. 2022.

HARTER, Hannes; WILLENBORG, Bruno; LANG, Werner; KOLBE, Thomas H. Life Cycle Assessment of building energy systems on neighbourhood level on semantic 3D city models. **Journal of Cleaner Production**, Baviera, v. 407, p. 137164, 11 abr. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137164>. Acesso em: 15 maio 2024.

HEAZEL, Charles. **OGC City Geography Markup Language (CityGML) 3.0 Conceptual Model Users Guide Copyright**. Open Geospatial Consortium, 13 set. 2021. Disponível em: <https://docs.ogc.org/guides/20-066.html>. Acesso em: 30 nov. 2021.

HEIPLE, Shem; SAILOR, David J. Using building energy simulation and geospatial modeling techniques to determine high resolution building sector energy consumption profiles. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 8, p. 1426-1436, 2008. DOI 10.1016/j.enbuild.2008.01.005.

HIJAZI, Ihab; KUTZNER, Tatjana; KOLBE, Thomas H. Use Cases and their Requirements on the Semantic Modeling of 3D Supply and Disposal Networks. In: WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHE JAHRESTAGUNG DER DGPF, 37., 2017, Würzburg. **Proceedings** [...]. Würzburg: Dgpf, 2017. p. 288-301. Disponível em: https://www.dgpf.de/src/tagung/jt2017/proceedings/proceedings/papers/28_DGPF2017_Hijazi_et_al.pdf. Acesso em: 22 jul. 2021.

HOUER. Consórcio Modelagem IP Bahia com Goiás. **Relatório técnico da rede de iluminação pública de Barreiras**: contrato administrativo nº 14.808/2020. [Barreiras: Houer], 2022. Disponível em: <https://barreiras.ba.gov.br/pppiluminacao/wp-content/uploads/2022/03/01relatorio-tecnico-da-rede-municipal-de-iluminacao-publica-de-barreiras.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Censo 2022**: De 2010 a 2022, população brasileira cresce 6,5% e chega a 203,1 milhões. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/37237-de-2010-a-2022-populacao-brasileira-cresce-6-5-e-chega-a-203-1-milhoes>. Acesso em: 23 jan. 2024.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Favelas resistem e propõem desafios para urbanização. **Revista Retratos**. 12 jul. 2019. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de-noticias/noticias/20080-favelas-resistem-e-propoem-desafios-para-urbanizacao>. Acesso em: 7 maio 2024.

INTERNATIONAL ORGANIZATION for STANDARDIZATION. **ISO 16739-1**: Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries – Part 1: Data schema. Geneva, Switzerland: ISO, 2018. 1474 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 19107**: Geographic information — Spatial schema. Geneva: International Standardization Organization, 2019. 225 p.

INTERNATIONAL ORGANIZATION for STANDARDIZATION. **ISO 19650-1**: Organization and digitalization of information about buildings and civil engineering works, including building information modelling (BIM) – Information management using building information modelling – Part 1: Concepts and principles. Bruxelas, 1st ed. 2018.

JESUS, Elaine Gomes Vieira de; AMORIM, Arivaldo Leão de; GROETELAARS, Natalie Johanna; FERNANDES, Vivian de Oliveira. Urban modeling for 3D GIS purposes from laser scanning: an implementation for university campus. In: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE IBEROAMERICAN SOCIETY OF DIGITAL GRAPHICS, 22., 2018, São Carlos. **Proceedings** [...]. São Carlos: Blucher, 2018. p. 617-624. ISSN: 2318-6968, DOI: 10.5151/sigradi2018-1813.

JOHARI, F.; PERONATO, G.; SADEGHIAN, P.; ZHAO, X.; WIDÉN, J. Urban building energy modeling: State of the art and future prospects. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s. l.], v. 128, n. 109902, p. 1-16, 2020. DOI 10.1016/j.rser.2020.109902.

JULIN, Arttu; JAALAMA, Kaisa; VIRTANEN, Juho-Pekka; POUKE, Matti; YLIPULLI, Johanna; VAAJA, Matti; HYYPPÄ, Hannu. Characterizing 3D city modeling projects: Towards a harmonized interoperable system. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, [s. l.], v. 7, n. 2, 7. fev. 2018, [55] p.

KADEN, Robert; ELFOULY, Mostafa; KOLBE, Thomas H. The CityGML Energy ADE: An International Standardization Effort for the Extension of 3D City Models to Support Energetic Building Analysis. *In: Innovations for Energy Systems, Mobility, Buildings and Materials*. 2015.

KHEMLANI, Lachmi. Hurricanes and their aftermath: how can technology help? **AECbytes**, [s. l.], 29 sep. 2005. Disponível em: https://web.archive.org/web/20111021101530/http://aecbytes.com/buildingthefuture/2005/HurricaneTechHelp_pr.html. Acesso em: 26 fev. 2019.

KIT. **FZKViewer**. 2022. Disponível em: <https://www.iai.kit.edu/1648.phpwer>. Acesso em: 5 out. 2022.

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. DOI 10.1007/978-3-540-87395-2_2. 2009. p. 15-31.

KOLBE, Thomas H.; BURGER, Barbara; CANTZLER, Berit. CityGML goes to Broadway. *In: PHOTOGRAMMETRIC WEEK 15, 55., 2015, Stuttgart. Proceedings [...]*. Stuttgart: Dieter Fritsch, 2015. p. 343-355. Disponível em: <https://ifpwww.ifp.uni-stuttgart.de/publications/phowo15/330Kolbe.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2022.

KOLBE, Thomas H.; DONAUBAUER, Andreas. A Semantic 3D City Modeling and BIM. *In: SHI, W.; GOODCHILD, M. F.; BATTY, M.; KAWAN, MP.; ZHANG, A. (eds.). The Urban Book Series*. Singapore: Springer, 2021. P. 609-636. ISBN 978-981-15-8983-6. Disponível em: https://doi.org/10.1007/978-981-15-8983-6_34. Acesso em: 22 mar. 2024.

KOLBE, Thomas H.; GRÖGER, Gerhard; PLÜMER, Lutz. CityGML: Interoperable Access to 3D City Models. *In: van OOSTEROM P.; ZLATANOVA Siyka; FENDEL, Elfriede M. Geo-information for Disaster Management*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2005. 1433 p. DOI: https://doi.org/10.1007/3-540-27468-5_63.

KRANZ, Olaf; SIEGERT, Florian; LIEBSCHER, Jan; LEHMANN, Frank; HIRSCHMUELLER, Heiko. Generierung interaktiver 3D: Stadtinformationssysteme aus Daten der High-Resolution Stereo Camera (HRSC) am Beispiel des 3D-Stadtplans München. *In: STROBL, Josef et al. Angewandte Geoinformatik*. 17. ed. Salzburg: Wichmann Verlag, 2005. p. 380-385.

KRÜGER, Andreas; KOLBE, Thomas H. Building analysis for urban energy planning using key indicators on virtual 3D City Models: The energy atlas of Berlin. **The international archives of the photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 39, p. 145-150, 2012. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5194/isprsarchives-xxxix-b2-145-2012>. Acesso em: 9 set. 2023.

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.

KUTZNER, Tatjana; KOLBE, Thomas H. Extending semantic 3D city models by supply and disposal networks for analyzing the urban supply situation. *In: LÖSUNGEN FÜR EINE WELT IM WANDEL, DREILÄNDERTAGUNG DER SGPF, DGPF UND OVG*, 36.

WISSENSCHAFTLICH-TECHNISCHE JAHRESTAGUNG DER DGPF. 2016, Bern.

Lösungen für eine Welt im Wandel, Dreiländertagung der SGPF, DGPF und OVG, 36. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der DGPF. Bern: Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V., 2016. p. 382-394.

LAAT, Ruben de; VAN BERLO, Léon. Integration of BIM and GIS: The development of the CityGML GeoBIM extension. **Advances in 3D Geo-Information Sciences**, p. 211-225, 2011.

LABORATÓRIO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM CIDADE, ARQUITETURA E TECNOLOGIAS DIGITAIS (LCAD). **Estabelecendo requisitos para a modelagem da informação da cidade - Projeto PROBRAL, Relatório final de cumprimento do objeto.** Salvador, 2023. 42 p.

LAKATOS, Eva Maria; MARCONI, Marina de Andrade. **Fundamentos de metodologia científica.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LEDOUX, Hugo. Val3dity: validation of 3D GIS primitives according to the international standards. **Open Geospatial Data, Software and Standards**, v. 3, n. 1, p. 1–13, 23 fev. 2018.

LEE, Jiyeong; ZLATANOVA, Sisi. A 3D data model and topological analyses for emergency response in urban areas. *In: ZLATANOVA, S.; LI, J. Geospatial information technology for emergency response.* Ontario: Taylor and Francis group, 2008. p. 159-184.

LI, Zhilin; ZHU, Christopher; GOLD, Chris. **Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology.** Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2005. E-book.

LIN, Boqiang; LIU, Hongxun. China's building energy efficiency and urbanization. **Energy and Buildings**, [s. l.], v. 86, p. 356-365, 2015. DOI 10.1016/J.ENBUILD. 2014.09.069.

LONGLEY, Paul A.; GOODCHILD, Michael F.; MAGUIRE, David J.; RHIND, David W. **Sistemas e Ciência da Informação Geográfica.** 3. ed. Bookman Editora, 2009.

LÖWNER, Marc-Oliver; SASSE, Andreas; HECKER, Peter. Needs and potential of 3D city information and sensor fusion technologies for vehicle positioning in urban environments. **Developments In 3D Geo-Information Sciences**, [s. l.], p. 143-156, 2010. Berlin Heidelberg: Springer. DOI 10.1007/978-3-642-04791-6_8.

LU, Qiuchen; LEE, S. H. Comparative analysis of technologies and methods for automatic construction of building information models for existing buildings. *In: ICE HKA*, 2015, Hong Kong. **ICE HKA.** Hong Kong: University of Hong Kong, 2015, p. 181-190.

MACHADO, Raquel Machado Engelman; FRACASSO, Edi Madalena; TOMETICH, Patrícia; NASCIMENTO, Luís Felipe Machado. Práticas de Gestão Ambiental em Universidades Brasileiras. **Revista de Gestão Social e Ambiental - RGSA**, São Paulo, v. 7, n. 3, p. 37-51, out./dez, 2013.

MACIEL, Danilo Alain Simões. **Políticas Públicas e Democratização Educacional**: acesso e permanência no ensino superior através do Programa REUNI. 2014. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Humanas) - Curso de Ciências Humanas, Instituto de Humanidades, Artes & Ciências Professor Milton Santos – IHAC, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

MADAKAM, Somayya; RAMASWAMY, R.; TRIPATHI, Siddharth. Internet of Things (IoT): A literature review. **Journal of Computer and Communications**, [s.l.], v. 3, n. 05, p. 164-173, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4236/jcc.2015.35021>. Acesso em: 8 mar. 2024.

MASCARÓ, Juan Luís; YOSHINAGA, Mário. **Infraestrutura Urbana**. Porto Alegre: Masquatro, 2005. 207 p.

MASTRUCCI, Alessio; BAUME, Oliver; STAZI, Francesca; SALVUCCI, Susanna; LEOPOLD, Ulrich. A GIS-based approach to estimate energy savings and indoor thermal comfort for urban housing stock retrofitting. *In*: GERMAN-AUSTRIAN IBPSA CONFERENCE, 5., 2014, p. 22-24. Ancona, Italy. **Proceedings** [...]. [S.L.]: RWTH Aachen University, 2014, p. 190-197. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/272785544>. Acesso em: 18 ago. 2021.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). **Sistema de Informações Energéticas – SIE – Brasil**, 2022. Disponível em: <https://www.mme.gov.br/SIEBRASIL/consultas/reporte-dato42-jerarquizado.aspx?oc=30120&or=30121&ss=4&v=1>. Acesso em: 3 mai. 2024.

MOOVIT. **Moovit apresenta relatório sobre transporte público em 2022**. Rio de Janeiro, 24 jan. 2023. Disponível em: <https://moovit.com/pt/press-releases/moovit-apresenta-relatorio-sobre-transporte-publico-em-2022/>. Acesso em: 7 maio 2024.

NAM, Taewoo; PARDO, Theresa A. Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. *In*: INTERNATIONAL DIGITAL GOVERNMENT RESEARCH CONFERENCE: DIGITAL GOVERNMENT INNOVATION IN CHALLENGING TIMES, 12. 2011, Maryland, **Proceedings** [...]. Association for Computing Machinery: New York, 2011, p. 282-291.

NERO, Marcelo Antônio; MEDINA, Nelkis de la Orden; SANTOS, Ricardo dos; LAPA, Rodrigo; SILVA, Sérgio Roberto Pereira da; SILVA, João Pedro; BRAZIL, Christiane Regina S. Desenvolvimento de SIG 3D com open source para a área de distribuição de energia elétrica. **Revista Brasileira de Cartografia**, São Carlos, v. 1, n. 62, p. 23-32, 2010. ISSN 0560-4613.

NERY, Juliana Cardoso; MOREIRA, Susanna Carozzo Cohim; CONCEIÇÃO, Samir Santos da; CORONGIU, Rafael Teles de Menezes Luz; SANTOS, Adrielle Jesus Xavier dos. EXPRESSÕES DA ARQUITETURA DO CONCRETO ARMADO NA BAHIA: os campi da Universidade Federal da Bahia (UFBA) e seus edifícios. *In*: SEMINÁRIO NACIONAL DO DOCOMOMO BRASIL, 11., 2016, Recife. **Anais** [...]. Recife: DOCOMOMO_BR, 2016. p. 1-7.

OGC. **PipelineML**. Disponível em: <https://www.ogc.org/standards/pipelineml>. Acesso em: 12 ago. 2021a.

OLIVEIRA, Liliane Torres de; SILVA, Ricardo Siloto da. Novos campi públicos brasileiros e a sustentabilidade ambiental. *In*: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO PARA O PLANEJAMENTO URBANO, REGIONAL, INTEGRADO, SUSTENTÁVEL, 4., 2010. Faro, Portugal. **Anais** [...]. São Carlos: EESC-USP, p. 1-12, 2010.

OTONDO, Catherine. Notas para uma nova gestão. **Cadernos de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 23–27, 3 jun. 2021. DOI 10.5935/cadernospos.v21n1p23-27.

PANDIYAN, Pitchai *et al.* Technological advancements toward smart energy management in smart cities. **Energy Reports**, v. 10, p. 648-677, 2023.

PANIGRAHI, Narayan. **Computing in geographic information systems**. CRC Press, 2014.

PEREIRA, Ana Paula Carvalho. **Modelagem da informação da construção na fase de projeto**: uma proposta de plano de execução BIM para a SUMAI / UFBA. 2017. 332 f. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2017.

REDE EAD PORTAL CAPACIDADES – Programa de Fortalecimento das Capacidades Governativas dos Entes Subnacionais do Ministério do Desenvolvimento Regional. **Curso de Eficiência Energética em Habitação**. Brasília: [Escola Nacional de Administração Pública – ENAP], 2021. Curso *online*. Disponível em: <https://www.escolavirtual.gov.br/curso/1033>. Acesso em: 25 maio 2021.

REINHART, Christoph F.; DOGAN, Timur; JAKUBIEC, J. Alstan; RAKHA, Tarek; SANG, Andrew. UMI: an urban simulation environment for building 2 energy use, daylighting and walkability. *In*: INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE INTERNATIONAL BUILDING PERFORMANCE SIMULATION ASSOCIATION, 13. 2013, Chambéry, **Proceedings** [...]. Red Hook: Curran Associates, 2013, p. 476-483.

SALAJ, Alenka Temeljotov; LINDKVIST, Carmel Margaret. Urban facility management. **Facilities**, [s. l.], v. 39, n. 7/8, 29 dez. 2020, p. 525-537. DOI 10.1108/f-06-2020-0078. Disponível em: <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/F-06-2020-0078/full/html>. Acesso em: 14 mar. 2021.

SALLEH, Syahiirah; UJANG, Uznir; AZRI, Suhaibah. Virtual 3D campus for Universiti Teknologi Malaysia (UTM). **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 10, n. 6, p. 1-12, 2021. MDPI AG. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijgi10060356>. Acesso em: 30 ago. 2021.

SÁNCHEZ-SILVA, Maurício. Managing Infrastructure Systems through Changeability. **Journal of Infrastructure Systems**, v. 25, n. 1, p. 1-12, 2018. DOI 10.1061/(ASCE)IS.1943-555X.0000467. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/330074357_Managing_Infrastructure_Systems_through_Changeability. Acesso em: 10 set. 2023.

SAPPAYASAN, Panida. SuperMap 3D GIS Platform in Eastern Economic Corridor (EEC) Project. **Supermap Communications**, n. 2, p. 11, 2011.

SCHÖNFELDER, Philip *et al.* Automating the retrospective generation of As-is BIM models using machine learning. **Automation in Construction**, v. 152, p. 104937, 2023.

SEDRIS. **SRDRIS Standards**. 2021. Disponível em: <http://standards.sedris.org/>. Acesso em: 11 ago. 2021.

SEGAWA, Hugo. Rio de Janeiro, México, Caracas: cidades universitárias e modernidades 1936-1962. **RUA: Revista de arquitetura e urbanismo**, v. 5, n. 1, p. 38-47, 1999.

SEMM, Stefan; BECKER, Thomas; KOLBE, Thomas H. Simultaneous visualization of different utility networks for disaster management. **ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences**, v. 1, p. 159-164, 2012.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. 23. ed. São Paulo: Cortez, 2007.

SHAHROUR, Isam; ALILECHE, Lyes; AL FURJANI, Abdurahman Musbah. Smart cities: System and tools used for the digital modelling of physical urban systems. *In: SENSORS NETWORKS SMART AND EMERGING TECHNOLOGIES*, 1., 2017, Beirut. **Proceedings** [...]. Beirut: IEEE, 2017. p. 1-4. DOI: 10.1109/SENSET.2017.8125056. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8125056>. Acesso em: 21 jun. 2020.

SHAN, J.; LI, Z.; ZHANG, W. Recent progress in large-scale 3D city modeling. **Acta Geodaetica et Cartographica Sinica**, v. 48, n. 12, p. 1523, 2019.

SHEN, Jie; ZHOU, Jingyi; ZHOU, Jiemin; HERMAN, Lukas; REZNIK, Tomas. Constructing the CityGML ADE for the Multi-Source Data Integration of Urban Flooding. **International Journal of Geo-Information**, v. 9, n. 6, p. 1-27, 30 maio 2020.

SILVA, Heibe Santana da. **A segregação socioespacial em Salvador - Bahia**: uma análise através da cartografia das redes de infraestrutura urbana. 2014. 244 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

SILVA, Márcia Regina Santos da. **A política pública de expansão do ensino superior**: aspectos do REUNI na UFRB. 2015. Dissertação (Mestrado em Estudos Interdisciplinares sobre a Universidade) - Instituto de Humanidades, Artes e Ciências da Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2015.

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. 194 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2022.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Avanços do novo marco legal do saneamento básico no Brasil – 2023**, 2021. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/avancos-do-novo-marco-legal-do-saneamento-basico-no-brasil-2023-snis-2021/>. Acesso em: 3 maio 2024.

STOTER, Jantien; OHORI, Ken Arroyo; DUKAI, Balázs; LABETSKI, Anna; KUMAR, Kavisha; VITALIS, Stelios; LEDOUX, Hugo. State of the Art in 3D City Modelling: six challenges facing 3D data as a platform. **GIM International**: the worldwide magazine for geomatics, [s. l.], v. 34, 2020.

SUN, Evelyn. **Dimension Upgrading of Cadastral Data**: SuperMap Helps the Digital Construction of 3D Cadastral in Turkey, 22 out. 2021. LinkedIn: evelyn-sun-494189184. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/dimension-upgrading-cadastral-data-supermap-helps-digital-sun/?trackingId=AvBg%2FRNzSb200pmGgKcB0w%3D%3D>. Acesso em: 9 out. 2023.

SUPERINTENDÊNCIA DE MEIO AMBIENTE E INFRESTRUTURA (SUMAI). **Serviços**. Disponível em: <https://sumai.ufba.br/servicos>. Acesso em: 11 set. 2023.

SUPERMAP. **Architecture**. 2022b. Disponível em: <https://www.supermap.com/en-us/11i-supermap-gis.html>. Acesso em: 15 jun. 2023.

SUPERMAP. **Soluções**. 2022a. Disponível em: https://www.supermap.com/pt/list/?49_1.html. Acesso em: 7 nov. 2022.

TABRIZI, Aydin; SANGUINETTI, Paola. Case study: evaluation of renewable energy strategies using building information modeling and energy simulation. **International Journal Of 3-D Information Modeling**. [S. L.], v. 2, n. 4, p. 25-37. 2013. Disponível em: <http://doi.org/10.4018/ij3dim.2013100103>. Acesso em: 9 set. 2023.

TAMIETTI, Gabriel. Brasil registra déficit habitacional de 6 milhões de domicílios. **FJP**, 24 abr. 2024. Disponível em: [https://fjp.mg.gov.br/brasil-registra-deficit-habitacional-de-6-milhoes-de-domicilios/#:~:text=Brasil%20-%20No%20país%2C%20em%202022,Federal%20\(74%2C5%25\)](https://fjp.mg.gov.br/brasil-registra-deficit-habitacional-de-6-milhoes-de-domicilios/#:~:text=Brasil%20-%20No%20país%2C%20em%202022,Federal%20(74%2C5%25)). Acesso em: 7 maio 2024.

TAUCHEN, Joel; BRANDLI, Luciana Londero. A gestão ambiental em instituições de ensino superior: modelo para implantação em campus universitário. **Gestão & Produção**, [s. l.], v. 13, n. 3, p. 503-515, dez. 2006. FapUNIFESP (SciELO). DOI 10.1590/S0104-530X2006000300012.

TAYLOR, Tim; KAZEMZADEH, Hormoz. Integrated SCADA/DMS/OMS: Increasing Distribution Operations Efficiency. **Electric Energy T&D Magazine**, Quebec, v. 13, n. 2, p. 31-34, 2009. Disponível em: <https://electricenergyonline.com/energy/magazine/389/article/Integrated-SCADA-DMS-OMS-Increasing-Distribution-Operations-Efficiency.htm>. Acesso em: 7 out. 2023.

TEGTMIEIER, Wiebke; ZLATANOVA, Sisi; VAN OOSTEROM, Peter; HACK, Robert. Information management in civil engineering infrastructural development: with focus on geological and geotechnical information. *In: GEOWEB 2009*, 8., 2009, Vancouver. **Proceedings** [...]. Vancouver [Canadá]: ISPRS, 2009. v. 38.

TELES, Roberta P. Gestão de universidades e tecnologias CAFM. *In: ENCONTRO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO*, 7., 2015, Recife. **Anais** [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2015, p. 291-302.

TELES, Roberta P. **Sistema de Alocação de Espaços para a FAUFBA**: uma aplicação de Facilities Management. 2016, 250 f. il. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO (TCU). **Esclarecimentos sobre uso dos resultados**. [Brasília]: SecexAdministração, [2021b]. Disponível em: <https://www.google.com/url?sa=t&rc=t=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwijttdJ0SFAXXTqpUCHR0IBclQFnoECBYQAQ&url=https%3A%2F%2Fportal.tcu.gov.br%2Fflumis%2Fportal%2Ffile%2FfileDownload.jsp%3FfileId%3D8A81881F6D40DF88016DD03667845653&usg=AOvVaw33er-eQBM5YG-i0BRltc7X&opi=89978449>. Acesso em: 24 out. 2022.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO (TCU). **Levantamento de governança e gestão públicas**: resultado TCU. Brasília: TCU, 2021a. Disponível em: <https://portal.tcu.gov.br/governanca/governanca-no-tcu/levantamento-de-governanca-resultados-do-tcu/>. Acesso em: 24 out. 2022.

TSHEBOAGAE, Aobakwe. Improving the Status Quo of GIS and remote sensing applications in the local area through cooperation. **Supermap Communications**: a stronger SuperMap through collaboration, Beijing, v. 2, p. 10, nov. 2021.

TECHNICAL UNIVERSITY OF MUNICH (TUM). **3D City Model of New York City**. Disponível em: <https://www.asg.ed.tum.de/en/gis/projects/3d-city-model-of-new-york-city/>. Acesso em: 8 set. 2023.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA (UFBA). **Organograma UFBA**. 2022b. Disponível em: <https://proplan.ufba.br/organograma-ufba>. Acesso em: 24 out. 2022.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA (UFBA). **Plano de desenvolvimento institucional: 2012-2016**. Salvador: PROPLAN, 2012, 62 p. Disponível em: https://www.ufba.br/sites/devportal.ufba.br/files/pdiufba_2012-16.pdf. Acesso em: 21 jul. 2017.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA (UFBA). **Plano de desenvolvimento institucional: 2018-2022**. Salvador: SUPAD, 2017a. 164 p. Disponível em: <https://proplan.ufba.br/sites/proplan.ufba.br/files/pdi-2018-2022.pdf>. Acesso em: 1 jun. 2022.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA (UFBA). **Relato integrado de gestão: Exercício 2018**. 2019, 222 p. Disponível em: https://proplan.ufba.br/sites/proplan.ufba.br/files/relato_integrado_de_gestao_ufba_2018.pdf. Acesso em: 3 jun. 2022.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA (UFBA). **Relatório de gestão: exercício 2021**. Universidade Federal da Bahia, Reitor João Carlos Salles Pires da Silva. Salvador, 2021b. 257 p. Disponível em: https://proplan.ufba.br/sites/proplan.ufba.br/files/rg_ufba_2021_-_vr._final.pdf. Acesso em: 17 jun. 2022.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA (UFBA). **Relatório de gestão: exercício 2016**. Universidade Federal da Bahia, Reitor João Carlos Salles Pires da Silva. Salvador, 2017b. 301 p. Disponível em: https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/24159/3/relatorio_de_gestao_tcu-ufba_2016_ok.pdf. Acesso em: 27 maio 2022.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA (UFBA). UFBA conquista maior grau de classificação do Índice de Governança e Gestão Públicas do TCU. **UFBA em Pauta**, 10 fev. 2022a. Disponível em: https://www.ufba.br/ufba_em_pauta/ufba-conquista-maior-grau-de-classificacao-do-indice-de-governanca-e-gestao-publicas. Acesso em: 1 jun. 2022.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA (UFBA). **UFBA em números 2021**. 2021a. Disponível em: <https://proplan.ufba.br/ufba-em-numeros-2021>. Acesso em: 2 jun. 2022.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA (UFBA). UFBA investe em melhorias para o fornecimento de energia nos campi. **UFBA em Pauta**, 3 jul. 2013. Disponível em: https://www.ufba.br/ufba_em_pauta/ufba-investe-em-melhorias-para-o-fornecimento-de-energia-nos-campi. Acesso em: 31 maio 2022.

UNIVERSITÄT KOBLENZ LANDAU: **QS-City 3D**. 2022. Disponível em: <https://www.uni-koblenz-landau.de/de/koblenz/fb4/uebergreifend/er/stormodelling/tools/qscity>. Acesso em: 5 out. 2022.

WEISS, Marcos Cesar; BERNARDES, Roberto Carlos; CONSONI, Flavia Luciane. Cidades inteligentes como nova prática para o gerenciamento dos serviços e infraestruturas urbanas: a experiência da cidade de Porto Alegre. **Revista Brasileira de Gestão Urbana (URBE)**, [s. l.], v. 7, n. 3, p. 310-324, 2015. DOI: 10.1590/2175-3369.007.003.AO01. Disponível em: <https://periodicos.pucpr.br/index.php/Urbe/article/view/22054/21164>. Acesso em: 26 set. 2019.

WÜRSTLE, Patrick; SANTHANAVANICH, Thunyathep; PADSALA, Rushikesh; COORS, Volker. The Conception of an Urban Energy Dashboard using 3D City Models. *In: ACM*

INTERNATIONAL CONFERENCE ON FUTURE ENERGY SYSTEMS (e-Energy'20), 11., 2020, Austrália. **Virtual Event**. ACM: New York, NY, USA, 22-26 jun. 2020, p. 523-527. Disponível em: <https://doi.org/10.1145/3396851.3402650>. Acesso em: 24 fev. 2022.

YAO, Zhihang; NAGEL, Claus; KUNDE, Felix; HUDRA, György; WILLKOMM, Philipp; DONAUBAUER, Andreas; ADOLPHI, Thomas; KOLBE, Thomas. 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.

YOSINO, Carolina Midori Oquendo; FERREIRA, Sérgio Leal. Desafios e dificuldades na criação de modelagem CIM através da interoperabilidade entre plataformas GIS e BIM. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 2., 2019, Campinas, SP. **Anais** [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2019.

ZEMITROWICZ, Witold; ANGELIS NETO, Generoso de. **Infraestrutura urbana**. Escola Politécnica da USP. São Paulo: EPUSP, p. 15. 1997.

3DCityDB. **The CityGML Database**. Disponível em: <https://www.3dcitydb.org/3dcitydb/>. Acesso em: 28 set. 2022.

3DIS GmbH. **CityEditor**. 2022. Disponível em: www.3dis.de/cityeditor-citygml2cad/. Acesso em: 29 set. 2022.