

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
CENTRO ESTADUAL DE PESQUISAS EM SENSORIAMENTO REMOTO E METEOROLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

WANESSA MEZZOMO

**INTEGRAÇÃO DE DADOS DE CERTIFICAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE
AMBIENTAL NA INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS DO MUNICÍPIO DE
PORTO ALEGRE**

PORTO ALEGRE

2024

WANESSA MEZZOMO

**INTEGRAÇÃO DE DADOS DE CERTIFICAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE
AMBIENTAL NA INFRAESTRUTURA DE DADOS ESPACIAIS DO MUNICÍPIO DE
PORTO ALEGRE**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento.

Orientadora: Prof. Dr^a. Andrea Lopes Iescheck

PORTO ALEGRE

2024

CIP - Catalogação na Publicação

Mezzomo, Wanessa
Integração de Dados de Certificação em
Sustentabilidade Ambiental na Infraestrutura de Dados
Espaciais do Município de Porto Alegre / Wanessa
Mezzomo. -- 2024.
110 f.
Orientador: Andrea Lopes Iescheck.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Programa
de Pós-Graduação em Geociências, Porto Alegre, BR-RS,
2024.

1. Sistema de Informações Geográficas. 2.
Estruturação de Dados. 3. Modelagem Conceitual. 4.
Cidades Inteligentes. 5. Sustentabilidade. I. Lopes
Iescheck, Andrea, orient. II. Título.

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO

ATA

No dia 26 de junho de 2024, às 14h, através do link: <https://mconf.ufrgs.br/webconf/00009620>, reuniu-se em sessão pública, sob a presidência do(a) orientador(a) Profa. Dra. Andrea Lopes Iescheck, a Comissão Examinadora constituída por Dra. Claudia Robbi Sluter (PPGSR/UFRGS), Dr. Péricles Picanço Junior (UFPI) e Dr. Ronaldo dos Santos da Rocha (IGEO/UFRGS), para examinar e julgar a Dissertação apresentada pelo(a) aluno(a) **Wanessa Mezzomo** como um dos requisitos ao título de **MESTRE EM SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO**. Iniciados os trabalhos, o(a) candidato(a) submeteu-se à defesa da sua Dissertação, intitulada “**INTEGRAÇÃO DO PROGRAMA DE CERTIFICAÇÃO EM SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL NA IDE DE PORTO ALEGRE PARA CIDADES INTELIGENTES**”. Terminada a defesa, procedeu-se ao julgamento da mesma, cujo resultado foi o seguinte:

Membros da Banca	Aprovado		Voto de Louvor
	SIM	NÃO	
Dra. Claudia Robbi Sluter	(X)	()	()
Dr. Ronaldo dos Santos da Rocha	(X)	()	()
Dr. Péricles Picanço Junior	(X)	()	()

Apurados os resultados, e de acordo com o Regimento do Programa de Pós-graduação em Sensoriamento Remoto, a Dissertação foi considerada (X) aprovada () não aprovada. No caso de aprovação será concedido um prazo de 75 dias para o(a) candidato(a) efetuar as correções solicitadas pela Comissão Examinadora. Os membros da Banca Examinadora que ficam encarregados da leitura da versão alterada da Dissertação são: Péricles Picanço Junior e Andrea Lopes Iescheck, no prazo máximo de 30 dias.

Observação: Esta Ata não pode ser considerada como instrumento final do processo de concessão de título ao aluno.

Dedico este trabalho à minha família e às minhas amigas por todo incentivo e ajuda para que isso fosse possível.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de pesquisa.

À Universidade Federal pelo espaço de formação e pelas experiências acadêmicas enriquecedoras que contribuíram significativamente para meu crescimento pessoal e profissional.

Ao Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto (PPGSR) pela contribuição na minha formação acadêmica. À Professora Dr^a Claudia Robbi Sluter e à minha orientadora, Dr^a Andrea Lopes Iescheck, pelo incentivo, confiança, orientação e acompanhamento ao longo de toda a minha trajetória acadêmica, desde a bolsa de iniciação científica, aos estudos na Engenharia Cartográfica até o mestrado.

Aos meus familiares, pelo incentivo constante e pela presença incondicional em todos os momentos da minha vida. Em especial aos meus pais, Claudete e Walmor, por todo amor, carinho, ensinamentos e pelo contínuo incentivo ao estudo. À minha irmã, Viviane, por seu apoio e encorajamento contínuo, que foram fundamentais para a minha formação e sucesso acadêmico.

Ao meu namorado, Paulo Galvão, que surgiu num momento importante da minha vida, oferecendo apoio incondicional e compreensão nas fases finais do meu percurso acadêmico.

Às minhas amigas Amanda, Bruna, Camila, Carol, Eliane, Elis, Gabi, Josi, Kris e Priscila, por todo apoio e incentivo, e à minha grande amiga Márcia, por toda a motivação e suporte durante toda minha trajetória acadêmica. Agradeço também à minha psicóloga Sofia Nantes, por seu apoio essencial.

Aos meus colegas do mestrado e das engenharias, civil e cartográfica, pela colaboração e companheirismo.

À SMAMUS, à PROCEMPA e a DEL em especial a todos da equipe SmartPoa, Alex, Júlio, Pablo e Douglas, por todo incentivo e pela colaboração essencial. Agradeço à DPPS, especialmente à Giordana, por todas as contribuições valiosas ao projeto e pelo suporte essencial, e à Rovana pela confiança. Obrigada a todos pela confiança em me permitir coordenar o projeto de implementação do sistema TI do Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental e pelo fornecimento dos dados necessários para a dissertação.

E a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a conclusão deste trabalho.

RESUMO

No Brasil, a crescente demanda por cidades mais sustentáveis e inteligentes possibilita a integração de dados provenientes do Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental (PCSA) na Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE). No entanto, isto reside na identificação da estrutura mais adequada para realizar essa integração. O município de Porto Alegre, localizado no estado do Rio Grande do Sul, ainda carece de uma modelagem tridimensional de cidades que proporcione uma representação mais detalhada dos ambientes urbanos, comparadas às representações bidimensionais atuais. Por isso, esta dissertação tem como objetivo estruturar os dados do programa de Porto Alegre para sua integração na IDE do município, visando promover o desenvolvimento urbano sustentável e apoiar a criação de cidades inteligentes. Para isso, como métodos, foram realizadas coletas e a organização dos dados por meio de um formulário abrangente composto por 43 perguntas distribuídas em sete estratégias de sustentabilidade, conforme definido por decreto municipal. Esses dados foram modelados e estruturados conforme o padrão OGC CityGML, no nível LOD2 de detalhamento. Apesar de não ter sido possível realizar a visualização completa devido às limitações na camada de edificações e ao estágio em desenvolvimento da IDE, os mecanismos de visualização 3D foram utilizados para identificar desafios que podem afetar a futura integração dos dados. Em síntese, a dissertação contribui significativamente para o avanço da IDE em Porto Alegre, oferecendo uma base sólida para o desenvolvimento urbano sustentável e a implementação de cidades inteligentes. A estruturação dos dados segundo o padrão CityGML e a aplicação de técnicas de visualização 3D indicam a importância da organização de informações geoespaciais e seu impacto na gestão urbana. A integração eficiente de dados geoespaciais é fundamental para o desenvolvimento de cidades inteligentes, pois permite uma gestão integrada e inovadora dos recursos urbanos, promovendo um planejamento urbano mais inteligente e responsivo às necessidades da população.

Palavras-chave: Modelagem Conceitual. Cidades inteligentes. Sustentabilidade.

ABSTRACT

In Brazil, the growing demand for more sustainable smart cities enables the integration of data from the Environmental Sustainability Certification Program (ESCP) into the Spatial Data Infrastructure (SDI). However, this need lies in identifying the most suitable structure to achieve this integration. The municipality of Porto Alegre, located in Rio Grande do Sul state, still lacks a three-dimensional modeling of cities that provides a more accurate and detailed representation of urban environments, compared to the current two-dimensional representations. Therefore, this dissertation aims to structure the data from the Porto Alegre program for its integration into the city's SDI, aiming to promote sustainable urban development and support the creation of smart cities. For this, as methods, data collection and organization were carried out through a comprehensive form composed of 43 questions distributed in seven strategies of sustainability, as defined by municipal decree. These data were modeled and structured according to the OGC CityGML standard, at the LOD2 level of detail. Although it was not possible to perform a complete visualization due to limitations in the building layer and the stage of development of the SDI, 3D visualization mechanisms were used to identify challenges that may affect future data integration. In summary, the dissertation contributes significantly to the advancement of the SDI in Porto Alegre, offering a solid foundation for sustainable urban development and the implementation of smart cities. The structuring of data according to the CityGML standard and the application of 3D visualization techniques indicate the importance of organizing geospatial information and its impact on urban management. The efficient integration of geospatial data is fundamental for the development of smart cities, as it allows for integrated and innovative management of urban resources, promoting smarter urban planning that is responsive to the needs of the population.

Keywords: Conceptual Modeling. Smart Cities. Sustainability.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Localização da área de estudo.	18
Figura 2 - Componentes de uma IDE.....	21
Figura 3 - Níveis de Detalhamento no CityGML.	28
Figura 4 - Níveis de Detalhamento Aprimorado 3DBAG.	28
Figura 5 - Módulo Building.....	30
Figura 6 - Modelo de Transformação.	33
Figura 7 - Softwares.	36
Figura 8 - Integração SIG e BIM.....	43
Figura 9 - Fluxo de informação SIG e BIM.	45
Figura 10 - Iniciativa 3DBAG.	49
Figura 11 - Concepção Geral	53
Figura 12 - Fluxograma da metodologia utilizada.....	55
Figura 13 - Selos da Certificação em Sustentabilidade ambiental	57
Figura 14 - Altura máxima da edificação	59
Figura 15 - Dados adicionais do Formulário CS.....	65
Figura 16 - Levantamento de mapas de interesse	69
Figura 17 - Certificação por bairro.....	74
Figura 18 - Área de visualização	75
Figura 19 - Diagrama UML.....	83
Figura 20 - Visualização 3D	85
Figura 21 - Comparativo de altura.....	86

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CEPSRM	Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia
CIM	City Information Modeling
CONCAR	Conselho Nacional de Cartografia
DEL	Diretoria do Escritório de Licenciamento
DPPS	Diretoria de Projetos e Políticas de Sustentabilidade
GIS	Geographic Information System
IBGE	Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística
IFC	Industry Foundation Classes
INDE	Infraestrutura de Dados Espaciais
INDE	Infraestrutura Nacional de Da dos Espaciais
LoD	Level of Detail
OGC	Open Geospatial Consortium
PMPA	Prefeitura Municipal de Porto Alegre
POA	Porto Alegre
PROCEMPA	Empresa de Tecnologia da Informação e Comunicação da Prefeitura de Porto Alegre
PPGSR	Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto
SMAMUS	Secretaria Municipal do Meio Ambiente, Urbanismo e Sustentabilidade
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
TIC	Tecnologias De Informação E Comunicação
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UML	Unified Modeling Language
XML	eXtensible Markup Language

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	11
1.1.	Problema de Pesquisa.....	14
1.2.	Hipótese.....	14
1.3.	Justificativa	16
1.4.	Objetivos.....	17
1.4.1.	<i>Objetivo Geral.....</i>	17
1.4.2.	<i>Objetivos específicos</i>	17
1.5.	Área de Estudo.....	17
2.	DESENVOLVIMENTO	19
2.1.	Referencial teórico.....	19
2.1.1.	<i>Infraestrutura de Dados Espaciais</i>	19
2.1.2.	<i>Cidades Inteligentes.....</i>	39
2.1.3.	<i>Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental</i>	49
2.2.	Metodologia.....	52
2.2.1.	<i>Coleta de dados.....</i>	55
2.2.2.	<i>Estruturação e Modelagem Conceitual</i>	67
2.2.3.	<i>Visualização 3D</i>	74
2.3.	Resultados e discussão	77
2.3.1.	<i>Estruturação e Modelagem Conceitual</i>	77
2.3.2.	<i>Visualização 3D</i>	84
3.	CONCLUSÕES.....	87
	FINANCIAMENTO	91
	REFERÊNCIAS.....	92
	APÊNDICE A – XML.....	101

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos tem havido uma crescente demanda por cidades mais sustentáveis e inteligentes, o que tem impulsionado a adoção de tecnologias inovadoras e abordagens integradas de geoprocessamento para o planejamento urbano. A disponibilidade cada vez maior de dados geoespaciais, combinada com os avanços nas técnicas de visualização 3D, oferece novas oportunidades para compreender e enfrentar os desafios complexos encontrados nas áreas urbanas. Nesse contexto, o conceito de Cidades Inteligentes (*Smart Cities*) tem ganhado destaque como uma abordagem inovadora para lidar com os desafios urbanos contemporâneos e promover o desenvolvimento sustentável. Uma das principais características dessas cidades é a integração de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) e geoprocessamento para melhorar a eficiência dos serviços urbanos, promover a participação cidadã e garantir o uso sustentável dos recursos.

A importância dos dados na promoção de iniciativas voltadas para o desenvolvimento urbano inteligente é irrefutável. Júnior (2019) destaca que uma cidade que utiliza o geoprocessamento como meio e apoio ao planejamento e ordenamento territorial evita gastos com a duplicidade de dados e a obtenção de dados do seu território, como classificação do solo, entre outros. Isso sublinha a necessidade de os municípios se organizarem para criar sua própria infraestrutura de dados e um órgão responsável pela coleta, armazenamento, análise e modelagem desses dados. Ter acesso aos dados georreferenciados, bem como integrá-los e analisá-los posteriormente, é fundamental para aplicar o conceito de Cidades Inteligentes, aproveitando todo o potencial de diferentes tipos de dados disponíveis (De Jesus Procópio et al., 2023).

A integração de dados tridimensionais (3D) é essencial para o avanço das Infraestruturas de Dados Espaciais (IDE) nas cidades inteligentes. A modelagem tridimensional de cidades proporciona uma representação mais precisa e detalhada dos ambientes urbanos, comparada às representações bidimensionais (2D), permitindo uma análise mais completa das relações espaciais e das condições do ambiente. Segundo Santos (2023), a modelagem 3D é crucial para a compreensão e manipulação das cidades inteligentes, pois ela facilita a visualização e a gestão de aspectos urbanos complexos, como a elevação dos imóveis e a geometria das

construções. Este avanço é importante para superar limitações dos dados 2D, que frequentemente não capturam adequadamente detalhes essenciais, como alturas de edificações e características topográficas específicas.

No contexto das IDEs, a integração de dados 3D é fundamental para uma gestão urbana eficiente e transparente. A IDE envolve um conjunto de tecnologias e políticas para gerenciar dados geoespaciais, onde a inclusão de dados 3D pode significativamente melhorar a capacidade de representar o ambiente urbano de forma mais completa e funcional (INDE, 2010). Enquanto muitas IDEs no Brasil ainda utilizam predominantemente dados 2D, a adoção de dados 3D pode oferecer uma visão mais detalhada e precisa do espaço urbano, contribuindo para a implementação eficaz de políticas públicas e a melhoria dos serviços urbanos, alinhando-se com as diretrizes das cidades inteligentes e facilitando uma gestão mais integrada e inovadora (Ugeda, 2023). A inclusão do Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental de Porto Alegre representa essa abordagem, ao reconhecer e certificar empreendimentos que adotam práticas sustentáveis, como a redução nos consumos de água, energia e emissões de gases de efeito estufa, além da reciclagem de resíduos sólidos e promoção de construções sustentáveis. A integração dos dados gerados por esse programa na Infraestrutura de Dados Espaciais do município oferece uma base estratégica para o planejamento urbano, alinhando-se ao conceito de desenvolvimento sustentável, que visa atender às necessidades presentes sem comprometer as gerações futuras, por meio de ações ambientalmente responsáveis, socialmente justas e economicamente viáveis (Motta e Aguillar, 2009). Além disso, o programa desempenha um papel fundamental no processo de licenciamento urbano, sendo utilizado como critério inicial de análise pelo Escritório de Licenciamento da cidade. Ele proporciona vantagens tanto para empresas quanto para edificações comerciais e residenciais, ao aumentar sua visibilidade no contexto de práticas empresariais sustentáveis e de responsabilidade social (ESG). A adoção dessas práticas, além de contribuir para a redução do consumo de recursos como água e energia, reforça o compromisso de Porto Alegre com iniciativas globais, como a Conferência das Partes (COP), voltadas à mitigação das mudanças climáticas e à promoção do desenvolvimento sustentável. Dessa forma, a inclusão de dados tridimensionais no programa de certificação amplia a capacidade de análise espacial e a eficiência nas decisões de planejamento urbano, promovendo uma gestão mais

inteligente e sustentável da cidade. No contexto da gestão urbana contemporânea, destaca-se a relevância de que o geoportal da IDE de Porto Alegre seja tridimensional e de dados abertos, como uma ferramenta essencial para o compartilhamento e a visualização de informações geoespaciais. A integração dos dados nesse ambiente proporciona uma maneira eficiente de disponibilizar informações urbanas de forma acessível ao público, seguindo normas e padrões estabelecidos (Rezente, 2018). A ideia da IDE municipal é utilizar geotecnologias para a visualização de dados e a disponibilização de informações com gestão centralizada, normatizada e padronizada, possibilitando o uso da informação geoespacial de forma eficiente em estudos e projetos de maneira rápida, atualizada e com alta qualidade. A estrutura denominada *City Information Modeling* (CIM) surge com a meta de integrar dados de subsistemas urbanos para aprimorar a gestão e o planejamento urbano, beneficiando-se de modelagens BIM e SIG (Yosito, 2021). A tecnologia CIM possibilita solucionar problemas relacionados ao planejamento, gerenciamento e crescimento de demanda apresentado pelas cidades, principalmente no que diz respeito à infraestrutura urbana, fomentando assim o desenvolvimento de *Smart Cities*. Além disso, destaca-se a importância do entendimento sobre a altura máxima de uma edificação, como um fator de tomada de decisão em muitas atualizações do plano diretor dos municípios, que prevê medidas que devem ser tomadas pelo governo municipal para atender às necessidades da cidade (Noardo et al., 2020). Com isso, inserção desses dados em um ambiente de visualização tridimensional no geoportal 3D facilitará o entendimento e a exploração das informações geoespaciais, demonstrando um compromisso com a transparência e a gestão urbana.

Portanto, diante da crescente demanda por cidades mais sustentáveis e inteligentes, impulsionada pela necessidade de lidar com os desafios urbanos contemporâneos, este estudo propõe analisar a inclusão dos dados do Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental na Infraestrutura de Dados Espaciais de Porto Alegre. Para alcançar esse objetivo, no capítulo 2.1, é apresentado o referencial teórico, discutindo conceitos e teorias relevantes sobre infraestrutura de dados espaciais, cidades inteligentes e o programa de certificação em sustentabilidade ambiental. O capítulo 2.2 detalhará os métodos adotados de inclusão dos dados do Programa de Certificação na Infraestrutura de Dados Espaciais de Porto Alegre. São discutidas as técnicas de geoprocessamento e modelagem espacial utilizadas para

integrar e visualizar os dados de forma eficiente e acessível. Os resultados e discussão são abordados no capítulo 3, analisando os achados em relação aos objetivos propostos. Por fim, o capítulo 4 traz as conclusões do estudo, destacando as contribuições para a gestão urbana sustentável, limitações e sugerindo direções para pesquisas futuras. Serão discutidas possíveis direções futuras de pesquisa e a importância de continuar aprimorando aos métodos de inclusão de dados em infraestruturas de geoprocessamento municipais. Por meio dessa estrutura, pretende-se fornecer uma análise detalhada e abrangente da metodologia de inclusão dos dados do Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental na Infraestrutura de Dados Espaciais de Porto Alegre, contribuindo assim para o avanço do conhecimento e práticas na área de geoprocessamento e gestão urbana sustentável.

1.1. Problema de Pesquisa

No contexto do desenvolvimento urbano sustentável, surge a necessidade de integrar os dados do Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental na Infraestrutura de Dados Espaciais de Porto Alegre. No entanto, a questão central reside na identificação da estrutura mais eficaz para realizar essa integração. Isso implica em determinar como e quais os dados podem ser coletados e modelados de forma a serem incorporados de maneira precisa e acessível à infraestrutura de dados espaciais existente. Assim, deve-se identificar os dados mais relevantes e representativos para a inclusão na IDE, com indicadores-chave a serem considerados para garantir a qualidade e a utilidade dos dados para o planejamento urbano sustentável. Portanto, o problema motivador dessa pesquisa consiste em investigar e avaliar as abordagens de geoprocessamento e de modelagem espacial necessárias para integrar os dados do Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental na infraestrutura municipal, visando promover uma gestão urbana mais sustentável e abrangendo o conceito de cidades inteligentes.

1.2. Hipótese

A hipótese neste estudo é que, a partir de uma estruturação dos dados provenientes do Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental na IDE de Porto Alegre, esta pode resultar em uma visualização mais adequada desses dados, fomentando a tomada de decisões e promovendo a gestão urbana sustentável na

cidade. Partindo dessa premissa, a pesquisa visa investigar a eficácia dos procedimentos delineados para coleta, organização e preparação dos dados do programa, a fim de garantir sua incorporação completa e precisa na infraestrutura de dados espaciais municipal.

Assim, será possível identificar os dados relevantes do Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental para a integração na Infraestrutura de Dados Espaciais. Além disso, espera-se que a estratégia desenvolvida para a coleta, organização e preparação dos dados facilite sua inserção na infraestrutura existente, garantindo sua acessibilidade e utilidade para os gestores urbanos.

Ao coletar, organizar e modelar esses dados de maneira adequada, espera-se enriquecer a infraestrutura espacial, possibilitando uma gestão urbana mais coerente e informada. Ademais, a identificação de mecanismos de visualização 3D dos dados integrados tem o potencial de promover uma compreensão mais abrangente do ambiente urbano, contribuindo para a promoção da ideia de *Smart Cities* e impulsionando práticas sustentáveis em Porto Alegre.

É essencial medir as contribuições da pesquisa para a gestão urbana sustentável, bem como suas limitações e possíveis direções para pesquisas futuras. Isso permitirá determinar a eficácia da metodologia proposta e identificar áreas para melhorias e aprimoramentos futuros.

Essa integração pode proporcionar uma base sólida para tomadas de decisão informadas e ações efetivas de planejamento urbano, fortalecendo ainda mais a função da IDE municipal como uma ferramenta essencial para a gestão urbana inteligente. Essa sinergia entre o Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental e a IDE possibilitará uma gestão mais precisa e informada da cidade, capacitando os gestores a embasarem suas decisões em informações atualizadas e precisas. Em última análise, a implementação bem-sucedida dessa estruturação tem o potencial de impulsionar avanços significativos em direção a uma cidade mais inteligente e sustentável, ao aproveitar plenamente os recursos e capacidades da IDE municipal.

1.3. Justificativa

A integração dos dados do Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental na Infraestrutura de Dados Espaciais de Porto Alegre não apenas fortalece as bases para políticas públicas e práticas de planejamento urbano mais sustentáveis, mas também representa um avanço significativo rumo a uma cidade mais inteligente e resiliente. Ao unir informações detalhadas sobre a sustentabilidade ambiental das edificações certificadas com uma plataforma de visualização tridimensional acessível e intuitiva, esta iniciativa promove a transparência, o engajamento cidadão e a tomada de decisão informada.

Além de fornecer dados essenciais para o monitoramento e avaliação do desempenho ambiental das edificações certificadas, a integração dessas informações na IDE municipal destaca Porto Alegre como um exemplo de boas práticas em gestão urbana sustentável. Ao promover a adoção de tecnologias inovadoras e integradas, a cidade se destaca como uma referência nacional e internacional no campo das *Smart Cities*, ganhando visibilidade e reconhecimento por suas iniciativas pioneiras.

É importante ressaltar que, embora as tecnologias de cidades inteligentes estejam ganhando visibilidade em todo o mundo, ainda há uma escassez de dados detalhados nessa escala no Brasil. Assim, ao se posicionar como líder na integração de dados em uma plataforma 3D, Porto Alegre não só se beneficia em suas próprias tomadas de decisão, mas também contribui para o avanço do conhecimento e práticas no país. Esta pesquisa pode servir como um modelo para outras cidades brasileiras que buscam implementar soluções inovadoras para os desafios urbanos, e pode ser compartilhada internacionalmente, enriquecendo o diálogo global sobre o papel das cidades na construção de um futuro mais sustentável e inclusivo.

Ademais, ao investir na integração de dados em uma plataforma de visualização 3D, Porto Alegre está pavimentando o caminho para uma gestão urbana mais eficiente e adaptativa. A disponibilidade de informações detalhadas e atualizadas sobre a sustentabilidade das edificações não só auxilia na identificação de áreas prioritárias para intervenção e investimento, mas também facilita a colaboração entre diferentes setores da sociedade, incluindo o governo, empresas e comunidade acadêmica. Essa abordagem colaborativa é fundamental para o desenvolvimento de soluções integradas e holísticas que abordem os desafios multifacetados enfrentados pela

cidade, desde questões ambientais até sociais e econômicas. Ao criar um ecossistema de dados robusto e acessível, Porto Alegre está fortalecendo sua resiliência e capacidade de adaptação diante das mudanças climáticas e outros desafios emergentes, preparando-se para um futuro mais sustentável e próspero para seus cidadãos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo Geral

O objetivo geral é estruturar os dados provenientes do Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental de Porto Alegre para a Infraestrutura de Dados Espaciais do município, visando fornecer o suporte à visualização 3D para incentivar a ideia de cidades inteligentes.

1.4.2. Objetivos específicos

- a) Coletar e organizar os dados do Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental de Porto Alegre direcionado para a integração na Infraestrutura de Dados Espaciais do município;
- b) Modelar e estruturar os dados de forma adequada para garantir sua eficiente inserção na Infraestrutura de Dados Espaciais, considerando padrões e requisitos específicos;
- c) Identificar mecanismos para visualização 3D dos dados integrados na Infraestrutura de Dados Espaciais, com o objetivo de promover a ideia de cidades inteligentes em Porto Alegre.

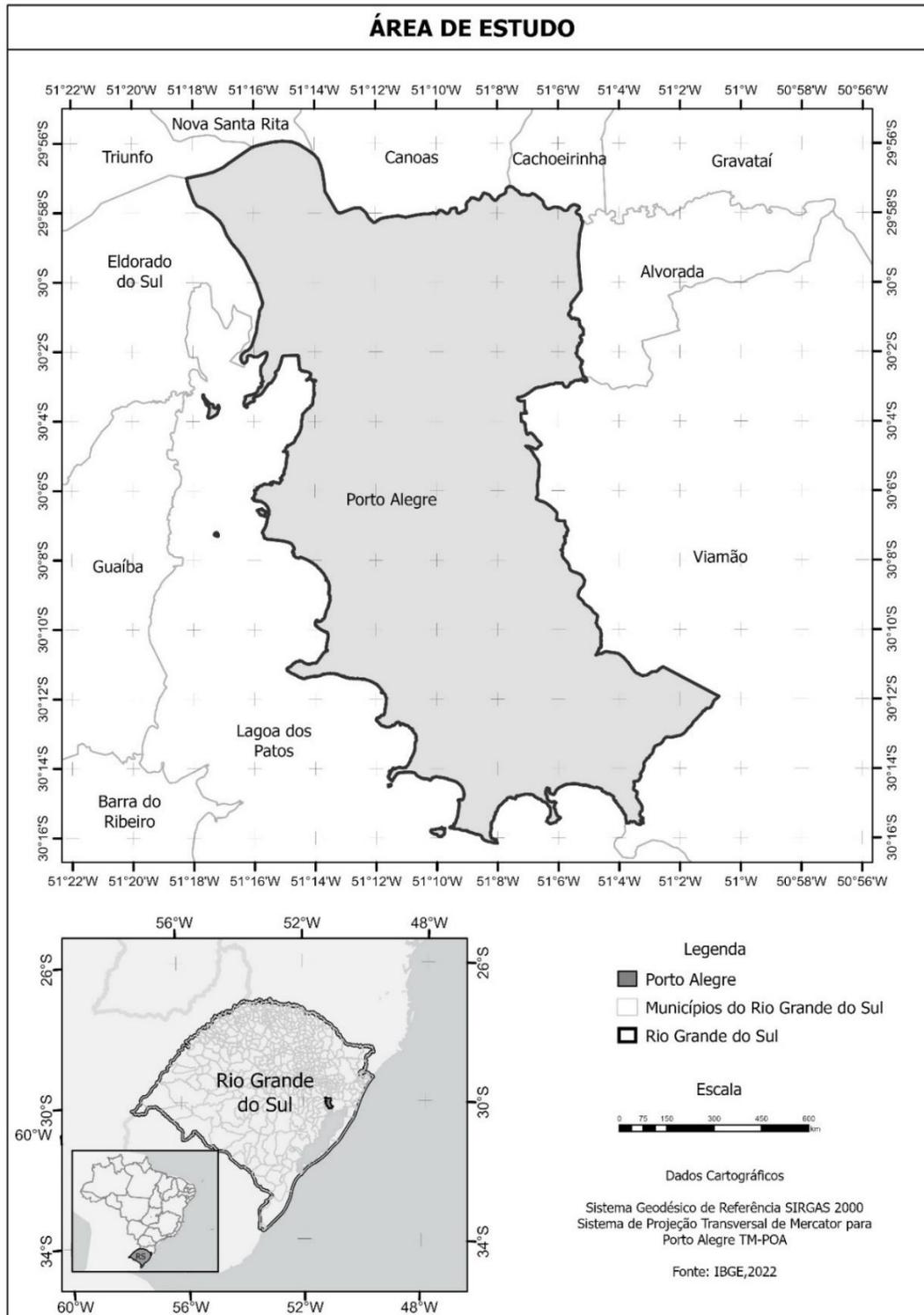
1.5. Área de Estudo

A área de estudo abrange o município de Porto Alegre localizado nas coordenadas geográficas entre latitude 29°55' S e 30°16' S, e longitude 51°01' W e 51°17' W. Com uma extensão territorial de 495,390 km² e população de 1.332.845 habitantes (IBGE, 2022), Porto Alegre está situado na porção leste do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. O município limita-se ao norte com Eldorado do Sul, Triunfo, Nova Santa Rita, Canoas e Cachoeirinha; ao sul e a oeste com o lago Guaíba; e a leste com Alvorada e Viamão. A área de estudo está ilustrada na Figura 1.

Em termos de infraestrutura e urbanização, em 2019, Porto Alegre apresentava uma área urbanizada de 214,91 km² e densidade demográfica de 2.690,50 hab/km².

Em relação aos serviços de saneamento, em 2010, 93% da população tinha acesso a esgotamento sanitário adequado. A arborização de vias públicas cobria 82,7% das vias, enquanto a urbanização dessas vias alcançava 69,4%.

Figura 1 - Localização da área de estudo.



2. DESENVOLVIMENTO

Este trabalho está estruturado em três capítulos. Inicialmente, no capítulo 2.1, será abordado o referencial teórico, que compreende três partes distintas. O primeiro capítulo discute a Infraestrutura de Dados Espaciais, seguido por uma análise das cidades inteligentes e uma explanação sobre o funcionamento do programa de certificação em sustentabilidade ambiental. Em seguida, o capítulo 2.2 detalha a Metodologia, dividida em três etapas: coleta de dados, estruturação e modelagem conceitual e visualização 3D. Por fim, a última parte, 2.3 Resultados e Discussão, se concentra na apresentação dos resultados derivados da modelagem conceitual e da visualização tridimensional, fornecendo uma análise detalhada das descobertas da pesquisa.

2.1. Referencial teórico

2.1.1. Infraestrutura de Dados Espaciais

A intensa evolução tecnológica dos últimos anos tem gerado mudanças significativas no ambiente de trabalho, impactando as estruturas administrativas públicas. Um exemplo disso é a crescente utilização das informações geoespaciais como acelerados do reconhecimento territorial e na tomada de decisões; entretanto, esse aumento desordenado de dados tem criado desafios adicionais para a organização, manipulação, processamento e interoperabilidade das informações.

Nesse contexto, o Decreto nº 6.666/2008 instituiu a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), considerado o Marco Legal da área. O decreto é baseado em um modelo internacional, permitindo estruturar os dados de acordo com um padrão mundial. A INDE nasce com o propósito de catalogar, integrar e harmonizar dados geoespaciais existentes nas instituições do governo brasileiro, tornando-os facilmente localizáveis, exploráveis e acessíveis a qualquer usuário e para diversos fins (INDE, 2021). A padronização proporciona também benefícios-chave, como o estímulo à inovação, maior eficiência, redução de custos de transação, transparência e compatibilidade internacional no mercado (Governo do Canadá, 2021).

Conforme o Decreto 6.666/08, a INDE foi constituída como:

“Conjunto integrado de tecnologias; políticas; mecanismos e procedimentos de coordenação e monitoramento; padrões e acordos, necessário para facilitar e ordenar a geração, o armazenamento, o acesso, o compartilhamento, a

disseminação e o uso dos dados geoespaciais de origem federal, estadual, distrital e municipal.”

Ainda em relação ao decreto, os principais objetivos da INDE são:

1. Promover o adequado ordenamento na geração, armazenamento, acesso, compartilhamento, disseminação e uso dos dados geoespaciais;
2. Promover a utilização, na produção dos dados geoespaciais pelos órgãos públicos das esferas federal, estadual, distrital e municipal, dos padrões e normas homologados pela; e
3. Evitar a duplicidade de ações e o desperdício de recursos na obtenção de dados geoespaciais, por meio da divulgação da documentação (metadados) dos dados disponíveis nas entidades e nos órgãos públicos das esferas federal, estadual, distrital e municipal.

Além disso, a INDE define a Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE), que representa um conjunto de tecnologias, políticas e mecanismos institucionais que facilita o acesso aos dados espaciais (Jesus, 2018). Ela é baseada na unimultiplicidade da informação fornecida por meio de organizações, secretarias e instituições de escala municipal, que pode contribuir para o planejamento urbano por meio da disseminação dessas informações (Moreira, 2018).

De acordo com o Plano de Ação da INDE (CONCAR, 2010), entre os principais objetivos de uma IDE, estão: compartilhar a informação geoespacial (IG), inicialmente na administração pública e depois para toda a sociedade; incrementar a administração eletrônica no setor público; garantir aos cidadãos o direito de acesso à IG pública; incorporar a IG produzida pela iniciativa privada; harmonizar a IG disponibilizada, bem como registrar suas características e subsidiar a tomada de decisões de forma mais eficiente e eficaz.

Adiciona-se também os componentes fundamentais de uma IDE típica IDE, elaborada por consenso internacional. Estes componentes estão representados pela Figura 2.

Figura 2 - Componentes de uma IDE.



Fonte: CONCAR,2010.

Além disso, a INDE define a Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE) como um conjunto de serviços que oferecem uma série de funcionalidades para uma comunidade de usuários de dados geoespaciais. Em nível municipal, ela traz para a administração municipal aprimoramento, aperfeiçoamento de fluxos de processos, além da economicidade financeira gerada a partir da estruturação e implementação das soluções propostas por uma IDE, além da ampliação e consolidação do intercâmbio de dados (Borges, 2018). A padronização promovida pela INDE evita a redundância de esforços e recursos entre os órgãos governamentais, contribuindo para uma gestão mais eficiente e transparente. Impedindo, assim, que cada órgão tenha seu próprio setor de geoprocessamento, seus próprios dados, programas e uso de recursos externos que muitas vezes finalizavam o contrato e perdiam-se as informações. Também impede que o governo pague caro para produzir os dados e outro departamento pague para produzir algo similar. Quanto à duplicidade, o Conselho Nacional de Cartografia – CONCAR (2010) mostra que a INDE evita o desperdício de recursos e esforços em um serviço já realizado, gerando economias ao não produzir dados já existentes, ao mesmo tempo que fornece maior qualidade e informações sobre os dados em detalhe.

Dornelles (2013) ressalta que a padronização da estrutura de dados espaciais e de metadados proposta pela INDE visa atender as escalas cadastrais abrangidas pela Cartografia Sistemática Brasileira, enquanto o mapeamento topográfico em escalas

maiores que 1:25.000 é responsabilidade dos estados e municípios. Essa abordagem permite uma distribuição mais equitativa das responsabilidades cartográficas e contribui para a eficácia da INDE em nível nacional. Percebe-se também que o mapeamento é imprescindível para a caracterização e localização espacial das feições desejadas. As informações e parâmetros obtidos no mapeamento resultarão na existência de uma base de dados que possibilita aos especialistas mapear, visualizar e realizar análises. Logo, ao considerar as questões intrínsecas do projeto cartográfico, são as necessidades do usuário que definem o uso dos mapas e, assim, as informações a serem representadas, suas classificações e feições, o tipo de representação e simbologia e a qualidade do produto. Ainda, parte do Plano de Ação destaca a necessidade de implementação de um geoportal, ponto de entrada para o conteúdo geográfico na Web, sendo o SIG-Brasil o geoportal brasileiro.

Entende-se que as instituições públicas do país estão direcionando esforços para disseminar dados geoespaciais desde o Decreto 6666/2008, acompanhando a tendência mundial em estruturação de dados para aprimorar a prestação de serviços. As informações especializadas permeiam o interesse de diversos agentes, como formuladores de políticas públicas; no entanto, envolvem o gerenciamento e uso de grandes volumes de dados, de diversas fontes, utilizados e analisados por diferentes perfis, com técnicas e métodos distintos (Borges, 2018).

Além disso, Franke (2016) mostra que muitas ações previstas para o Plano de Ação da INDE, que delimita prazos e metas, tiveram pouco avanço no período compreendido entre 2010 e 2014, comprometendo o alcance destes. O autor considera ainda que a INDE é desconhecida pela ampla maioria da sociedade, exemplificando o baixo acesso aos portais que disponibilizam os serviços e o número de usuários (menos de 3 mil visitas, sendo em sua maioria acessada pelos próprios usuários). Ainda são poucas implementações e estudos em municípios, como exemplificado pelas prefeituras de Belo Horizonte (Borges, 2018) e de Macapá (Silva, 2019). No contexto geral, toda a implementação trará grande reconhecimento ao município.

Existe ainda uma dificuldade de implementação das orientações da INDE, ausência de ferramentas e informação geográfica adequadas, que se traduzem em um subaproveitamento da informação disponível (Machado, 2016). Também a falta e desqualificação de mão de obra para atender as ações de implantação e manutenção

dos nós, onde Franke (2016) salienta a defasagem de corpo técnico nas instituições públicas, exemplificando o fato de não existirem carreiras específicas para as áreas relacionadas à geoinformação na maioria das instituições, e a alta rotatividade de mão de obra existente na Administração Pública. Além do alto custo para os municípios brasileiros na empregabilidade da geotecnologia como ferramenta de apoio para gestão administrativa (Jesus, 2018).

Silva (2018) evidencia a importância de uma base cartográfica atualizada, completa e padronizada, compatível com aplicações multiescala e efetivamente disponível para a sociedade, que, conforme descrito anteriormente, ainda é escassa em âmbito municipal. Existe uma necessidade de modelagem conceitual do sistema para armazenamento, representação e disponibilização dos dados geoespaciais aos usuários, visando analisar os resultados de forma mais precisa para a prevenção de acidentes e análises de tomada de decisões.

2.1.1.1. Modelagem de Dados Geoespaciais

Um elemento essencial na estruturação de uma Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE) é a presença de um modelo de dados bem definido. A elaboração da modelagem dos dados, que engloba seus atributos e métodos de representação, é um aspecto crucial nesse contexto. Considerações como a temporalidade e a frequência de atualização dos dados devem ser minuciosamente analisadas para garantir a eficácia e a relevância da IDE (Freitas, 2023).

De acordo com BORGES (2018), uma IDE permite o aprimoramento da gestão de dados geoespaciais a partir de padrões e diretrizes internacionais definidos pelo Open Geospatial Consortium (OGC). Iescheck (2016) complementa que o OGC visa criar formatos padrões que simplificam a interação entre diferentes fontes de dados, como os padrões de serviços web, que são aplicações ou componentes de aplicações acessíveis pela web. Borges (2018) ressalta que o OGC é indicado para armazenamento e distribuição de dados, utilizando, por exemplo, arquitetura orientada por serviços (SOA), tais como o Web Feature Service (WFS), o Web Map Service (WMS). O componente Dados da Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE) consiste nos dados e metadados, que são elementos essenciais. Os dados podem ser categorizados em referência, temáticos e de valor agregado, dependendo da função

para a qual foram produzidos (CINDE, 2010). Ainda, a INDE destaca que adotou os padrões do OGC para a especificação de seus geosserviços WMS, WFS e WCS.

Na definição da modelagem dos dados, é crucial considerar seus atributos e formas de representação. A INDE sugere as especificações técnicas para estruturação de dados geoespaciais vetoriais ET-EDGV 3.0. Essa norma, conforme descrito no documento ET-EDGV (2017), visa padronizar os dados geoespaciais vetoriais oficiais de referência, para escalas de 1:1.000 e menores, facilitando o compartilhamento, interoperabilidade e eficiência na utilização desses dados cartográficos. A estrutura de dados é modelada com orientação a objetos, com base na análise da fisiografia do Brasil nessas escalas. A modelagem conceitual utiliza UML 2.4.1 e OMT-G, adaptadas para as especificidades do contexto geográfico brasileiro.

Freitas (2023) destaca que a INDE disponibilizou diagramas de classes detalhados, incluindo atributos alfanuméricos, para alguns conjuntos de dados, os quais podem ser consultados na Especificação Técnica de Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-EDGV). No entanto, a ausência de especificações para classes temáticas, como aquelas relacionadas ao meio ambiente, exigiu a adoção de uma modelagem própria ao estudo. Por isso, devido à ênfase da ET-EDGV em dados de cartografia de referência, Freitas (2023) seguiu as demais normas de qualidade da ISO, conforme preconizado pela INSPIRE. A Diretiva INSPIRE tem como objetivo desenvolver uma Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE) da União Europeia para apoiar políticas ambientais e atividades com impacto no meio ambiente. O INSPIRE aproveita as infraestruturas de informação espacial dos Estados-Membros da UE e aborda 34 temas de dados espaciais essenciais para aplicações ambientais. (INSPIRE, 2023). De acordo com Ugeda (2023), a Diretiva INSPIRE visa estabelecer uma infraestrutura de dados espaciais na Europa, promovendo a harmonização e interoperabilidade dos dados geoespaciais entre os Estados-Membros, o que facilita a formulação e implementação de políticas públicas baseadas em dados georreferenciados. Ela não apenas incentiva a padronização dos dados, mas também a criação de mecanismos robustos para monitoramento e apresentação de relatórios, essenciais para avaliar o progresso das cidades rumo à inteligência urbana. Assim, a criação de IDEs conforme delineado pela Diretiva INSPIRE, tem se mostrado um componente crucial para que as cidades atinjam seus objetivos de desenvolvimento sustentável, oferecendo uma base comum de dados para diversas políticas públicas.

No contexto mais amplo da Estratégia Europeia para os Dados, o Centro Comum de Investigação (o serviço científico e de conhecimento da Comissão Europeia) está colaborando com os Estados-Membros da UE na modernização da pilha tecnológica do INSPIRE. Conforme informado pela diretiva, existe um esforço atualmente para a utilização de padrões de dados 'tal como estão', com o intuito de facilitar a utilização de software "pronto para uso" para a entrega de dados, evitando o desenvolvimento de extensões específicas do INSPIRE para eles. Esse desejo por padrões modernos, simples e compreensíveis resultou na criação da OGC API – Features este ano, que se junta à API Sensor Things da OGC como outra boa prática INSPIRE – e outras APIs OGC provavelmente seguirão esse exemplo.

De acordo com a pesquisa conduzida por Santhanavanich et al. (2023), a investigação demonstrou o imenso potencial da norma API do OGC para facilitar a interoperabilidade da gestão, fornecimento, processamento e visualização de dados de energia de edifícios urbanos em 3D (e.g., dados de sistema de iluminação interno e externo, e de fontes renováveis de edificações). Ao analisar dois casos de utilização em Montreal e Helsínquia durante o OGC Testbed 18, foi estabelecida a eficácia dos processos da API OGC para a análise CityGML e o cálculo da energia de edifícios urbanos. A abordagem API padronizada proposta neste estudo oferece uma série de benefícios para a infraestrutura de dados espaciais de energia. Em primeiro lugar, fornece uma estrutura e um formato de dados normalizados que garantem um elevado nível de interoperabilidade entre vários sistemas. Em segundo lugar, aborda as preocupações com a privacidade dos conjuntos de dados específicos do domínio, permitindo ciclos de atualização de dados assíncronos e independentes. Em terceiro lugar, a duplicação de conjuntos de dados pode ser eliminada e, em quarto lugar, os conjuntos de dados de energia de diferentes resoluções temporais podem ser integrados no modelo CityGML do lado do cliente, sem preocupação com o tamanho dos dados. Por fim, a partilha de dados pode ser rápida e eficiente, sem qualquer preocupação com o tamanho do conjunto de dados.

A investigação futura deve centrar-se na melhoria do desempenho dos processos da API OGC, utilizando melhor os recursos existentes e desenvolvendo ferramentas interativas para o cliente, a fim de o tornar um serviço mais acessível e fiável. De um modo geral, este estudo realça o imenso potencial da norma API OGC

para facilitar a interoperabilidade e permitir uma gestão eficiente dos dados no contexto dos dados energéticos de edifícios urbanos 3D.

Os padrões da Open Geospatial Consortium (OGC) são amplamente adotados, com destaque para o CityGML, um modelo conceitual e um formato de troca para representar, armazenar e compartilhar modelos virtuais tridimensionais de cidades. Isso simplifica a integração de dados geoespaciais urbanos para diversas aplicações, como planejamento urbano e paisagístico. O CityGML permite a representação de informações geométricas e semânticas de objetos urbanos 3D, viabilizando aplicações como gestão de água, avaliação de poluição sonora/ar, análise de irradiação solar e monitoramento de tráfego (OGC, 2024). Baseado em XML, como um esquema de aplicação da GML3, o CityGML oferece uma estrutura eficaz para representar modelos de cidades com informações semânticas, possibilitando aos usuários executarem funções que não seriam viáveis sem os metadados fornecidos por ele. Os módulos no CityGML são projetados para refletir a aparência, as características espaciais e temáticas de um objeto urbano (MAIERON I, 2021).

O OGC CityGML Standard Working Group (SWG) e o Special Interest Group 3D (SIG3D) iniciaram o desenvolvimento da versão 3.0 do CityGML em 2014. Em 2020, foi lançado o CityGML 3.0 Conceptual Model Standard. Kutzner et al. (2020) destacam que o Modelo Conceitual CityGML 3.0 compreende 17 módulos, incluindo todos os presentes no CityGML 2.0, e introduzindo novos módulos como Dynamizer, Versioning, PointCloud e Construction, enquanto revisa módulos como Core, Generics, Building e Transportation. Essa abordagem consolidou-se como padrão na definição de esquemas de aplicações geoespaciais ao longo da última década. O processo, baseado em modelos, envolve duas etapas principais: (1) a definição de modelos de dados no nível conceitual, geralmente utilizando a linguagem UML (ISO 19505-2, 2012), e (2) a geração automática de formatos de transferência a partir desses modelos UML, por meio da aplicação de regras específicas.

O CityGML 3.0 estabelece uma clara distinção semântica das características espaciais, mapeando todos os objetos urbanos nos conceitos semânticos de espaços e limites espaciais. Os espaços são entidades com extensão volumétrica no mundo real, enquanto os limites espaciais são entidades com extensão de área no mundo real, que delimitam e conectam os espaços. Além disso, o módulo Building do CityGML 3.0 apresenta a classe `AbstractBuildingSubdivision`, modelada como uma

subclasse de `AbstractLogicalSpace`, e as especializações `BuildingUnit` e `Storey`, permitindo a representação de unidades de construção, como apartamentos, e andares. Também é mencionada a existência de ferramentas de conversão de `citygml2` para `citygml3`, possibilitando a conversão de dados sem perdas (3DCityDB,2024). Santos (2023) destaca que o foco principal em modelos de cidades 3D está nas definições semânticas dos objetos relevantes, como diferentes tipos de edificações e suas partes constituintes, incluindo paredes, telhados, cômodos, portas, janelas, materiais de construção, corpos d'água, vegetação, terreno e até mesmo móveis. Essas definições temáticas comuns abordam o problema da heterogeneidade semântica e facilitam a integração de dados ao representar explicitamente as relações entre as feições, como a relação entre uma porta e a parede que ela contém.

Em relação aos níveis de detalhamento (LoDs), uma edificação pode ser representada de várias maneiras no CityGML. Por exemplo, em LoD1, ela pode ser representada por um sólido 3D, enquanto em LoD0, pode ser abstraído como um único ponto, pegada ou impressão de telhado. Além disso, em LoD3, a representação pode ser uma malha 3D. Os LoDs variam de LoD0 a LoD4, cada um destinado a diferentes escalas de mapeamento, desde grandes regiões até edificações específicas (OGC 2024; MAIERON, 2021). O CityGML define cinco Níveis de Detalhe (LoDs) para representar edifícios em modelos tridimensionais, aumentando em complexidade geométrica e semântica:

LoD0: Representa a construção como um polígono em 2.5D, que pode ser uma impressão da planta ou a borda do telhado. Este nível marca a transição de SIG 2D para SIG 3D.

LoD1: Apresenta a construção como um sólido prismático básico, geralmente obtido por extrusão do modelo do LoD0, sem detalhes sobre o formato do telhado.

LoD2: Inclui o formato do telhado e detalha a construção em várias partes semânticas, como telhado e paredes, oferecendo uma modelagem mais precisa.

LoD3: Descreve a edificação com detalhes arquitetônicos adicionais, como janelas e portas, apresentando um nível de complexidade muito maior que o anterior.

LoD4: Fornece uma visão completa da estrutura interna da edificação, incluindo divisões de cômodos, escadas e mobília, além dos detalhes externos.

A Figura 3 exemplifica os níveis de detalhamento.

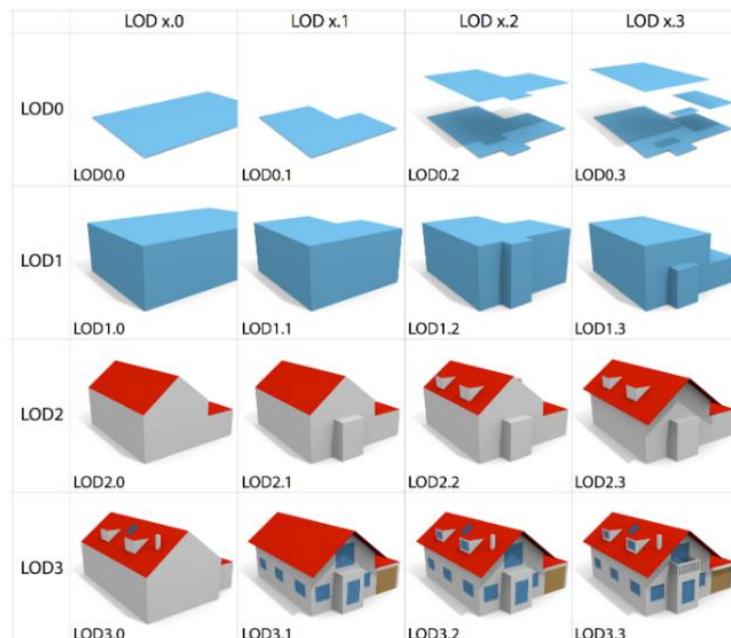
Figura 3 - Níveis de Detalhamento no CityGML.



Fonte: SIG3D,2024.

Além disso, o projeto holandês 3DBAG utiliza a especificação LoD aprimorada, destacando os LoDs 1, 2, 1.3 e 2.2. A principal diferença entre LoD1 e LoD2 é a presença de superfícies semânticas, enquanto entre LoD1.2 e LoD1.3 é a distinção de diferenças de altura significativas dentro de um edifício. O LoD pode ser visualizado na Figura 4.

Figura 4 - Níveis de Detalhamento Aprimorado 3DBAG.



Fonte: 3DBAG,2024.

O CityGML é uma linguagem de modelagem que descreve o ambiente urbano em módulos separados. O módulo mais crucial, o Core, define os conceitos e componentes fundamentais de qualquer modelo de dados urbanos, enquanto outros módulos temáticos complementam essa estrutura. A modelagem formal do CityGML utiliza diagramas UML para representar as relações de associação, cardinalidade, agregação e herança. Cada módulo é especificado individualmente em esquemas XML.

De acordo com Maieron (2021), na modelagem do CityGML, a classe *AbstractBuilding* desempenha um papel central, representando edificações urbanas. A definição de seus atributos, como *class*, *function*, *usage* e *roofType*, é realizada utilizando o tipo de dados *CodeType* para garantir a integridade semântica dos dados. O autor explica que a classe *AbstractBuilding* também permite a inclusão de atributos adicionais através de *generic attributes*, disponíveis no módulo *Generics*. Além disso, ela se especializa em *Building* e *BuildingPart*, permitindo uma hierarquização com maior nível de detalhamento, como a definição de um cômodo pertencente ao *BuildingPart*, dentro do item *Building*. Ainda, a modelagem de itens no módulo *CityObjectGroups*, tais como: complexos de prédios, como fábricas, escolas e hospitais. A Figura 5 apresenta o módulo *Building* para CityGML 3.0, detalhando a hierarquia contida no módulo.

Além disso, Maieron (2021) ressalta que os modelos 3D podem ser armazenados em bancos de dados espaciais, simplificando sua manutenção e administração. Nesse sentido, a plataforma 3DCityDB se destaca como uma solução gratuita para importar, gerenciar, analisar, visualizar e exportar modelos virtuais de cidades em 3D, de acordo com o padrão CityGML. Ao carregar estes modelos, os dados são submetidos a uma validação, garantindo a qualidade do modelo final.

O modelo geométrico do CityGML utiliza primitivas que podem ser combinadas para criar complexos, geometrias compostas ou agregados. As primitivas de dimensão zero são representadas como pontos, enquanto as unidimensionais são tratadas como curvas. As geometrias combinadas podem formar agregados, onde o relacionamento espacial entre os componentes não é restrito, ou complexos, que são estruturados topologicamente. O GML3 fornece tipos específicos de agregados e complexos para cada dimensão, como MultiPoint, MultiCurve, MultiSurface e MultiSolid, além de oferecer Complexes e Composites para uma representação mais detalhada e organizada das geometrias (Kutzner et al., 2020).

O modelo temático define classes para os principais tipos de objetos em modelos virtuais tridimensionais de cidades. Essas classes são derivadas, de forma transitiva, das classes básicas Feature e FeatureCollection, conforme definido na ISO 19109 e no GML3. As feições incluem atributos espaciais e não espaciais, mapeados para propriedades de feições GML3. O modelo temático aborda diversas inter-relações entre classes de recursos, como agregações, generalizações e associações. O objetivo da modelagem explícita é promover a interoperabilidade semântica entre diferentes aplicações, garantindo um conjunto bem definido de tipos de recursos, atributos e tipos de dados padronizados. Para permitir a troca de objetos e atributos não explicitamente modelados no CityGML, foram introduzidos os conceitos de GenericCityObjects e GenericAttributes (Yi Tan et al., 2023).

A comunicação entre BIM e SIG enfrenta uma certa barreira: a troca de informações de forma que haja interoperabilidade entre os arquivos, evitando a perda de dados durante os processos de importação e exportação. Essa integração ocorre principalmente em dois níveis: o nível de aplicação e o nível de dados (Zhu, 2021). O BIM adota o consórcio Industry Foundation Classes (IFC) como padrão para a troca de informações, consolidado pela BuildingSMART (Deritti e Freire, 2018). A BuildingSMART International é uma autoridade global que lidera a transformação

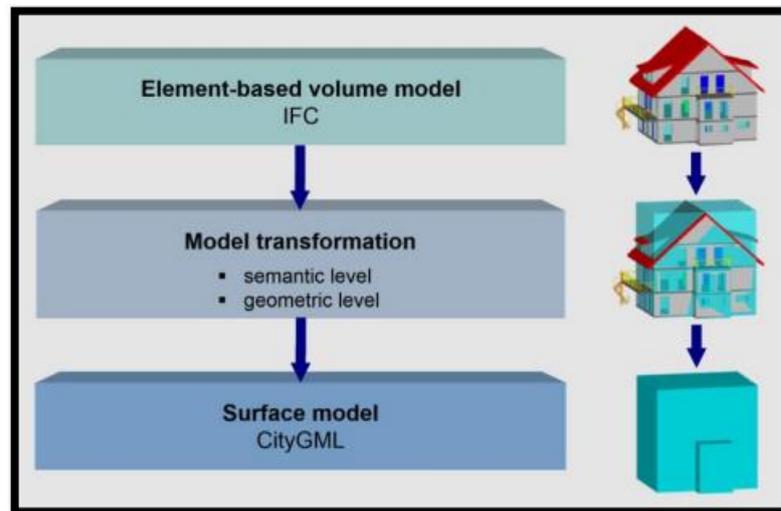
digital do ambiente construído, criando e adotando padrões internacionais abertos para infraestrutura e edificações (BuildingSMART, 2022). No Brasil, a BuildingSMART Brasil foi criada para disseminar o BIM. Como parte dos estudos iniciais que embasaram a fundação do BIM Fórum Brasil, criou-se uma lista preliminar com quinze potenciais projetos liderados pela entidade para apoiar a Estratégia BIM BR do Governo Federal, tais como: criação do capítulo Brasileiro da BuildingSMART e desenvolvimento de pesquisas sobre o nível de maturidade e utilização do BIM (BIMForum, 2022).

Dentre os padrões internacionais estabelecidos pela BuildingSMART está o IFC – Industry Foundation Classes (ISO 16739:2013), considerado o padrão mais importante na área de interoperabilidade no setor da AEC e a base do BIM (BIM FORUM, 2022). É um padrão internacional aberto (ISO 16739-1:2018) e promove recursos independentes de fornecedor ou agnósticos, utilizáveis em uma ampla variedade de dispositivos de hardware, plataformas de software e interfaces para muitos casos de uso diferentes.

Por outro lado, o SIG trabalha com estruturas definidas pelo usuário, sem padrões estabelecidos ou normatizados como no IFC, o que dificulta a transição de dados para o BIM e sua modelagem (Carvalho, 2020). O padrão de dados SIG é o CityGML, consolidado pela Open Geospatial Consortium (OGC).

Yosino e Ferreira (2019) destacam que para transferir dados do IFC para CityGML é necessária uma transformação geométrica e semântica do modelo volumétrico, através de simplificações na volumetria, que representarão o modelo construtivo no ambiente urbano, conforme Figura 6.

Figura 6 - Modelo de Transformação.



Fonte: Yosino e Ferreira, 2019.

Yi Tan et al. (2023) explicam que, no CityGML 3.0, foram introduzidas propriedades espaciais para diferenciar semanticamente os tipos de recursos, mapeando todos eles em conceitos semânticos de espaço e limite de espaço. Isso simplifica a conversão de modelos IFC para CityGML, permitindo um mapeamento direto de objetos volumétricos, como paredes e tetos. Por exemplo, no CityGML 2.0, uma parede é representada como *InteriorWallSurface* e *ExteriorWallSurface*, enquanto no IFC é um objeto volumétrico. No CityGML 3.0, a semântica da parede é representada como um espaço físico ocupado, mantendo a integridade semântica dos dados e garantindo uma representação precisa dos modelos IFC convertidos.

Noardo (2020) orienta ainda que a modelagem BIM pode ser uma técnica fundamental em cidades inteligentes, devido à sua capacidade de produzir modelos de construção altamente detalhados, enquanto os SIGs podem desempenhar um papel proeminente no gerenciamento e análise desses modelos, em grande parte por meio de análise espacial global.

2.1.1.2. Geoportal

Um geoportal, conforme definido pela INDE (2017), é um "Web site que constitui um ponto de entrada para conteúdo geográfico disponível na Web". Funciona como uma plataforma online que oferece acesso a diversos dados geoespaciais e

ferramentas de análise, geralmente por meio de geoserviços. Essa plataforma permite ao usuário visualizar, editar e analisar dados geoespaciais de maneira integrada e interativa, facilitando a tomada de decisões e o desenvolvimento de soluções em diversas áreas, como planejamento urbano, gestão ambiental e desenvolvimento regional.

O estudo de Felini (2023) investigou a disponibilização de dados cartográficos por meio de geoportais nos municípios do Paraná. A pesquisa revelou que a grande maioria dos municípios não possui geoportal, com apenas 22 identificados em todo o estado. Aqueles que possuem geralmente estão integrados aos websites das prefeituras. Embora os maiores municípios geralmente adotem geoportais, muitos ainda não o fazem de forma unânime. Observou-se também que algumas prefeituras de cidades menores estão se esforçando para fornecer recursos cartográficos aos cidadãos, o que destaca a importância da disponibilização de informações geoespaciais para promover a cidadania.

Um exemplo notável de geoportal municipal brasileiro é o GeoSampa, implementado na cidade de São Paulo. Galhardo et al. (2023) descrevem o GeoSampa como um portal que consiste em um mapa digital da cidade com acesso a diversas bases de dados. Com mais de 150 tipos de dados georreferenciados disponíveis, incluindo informações sobre arborização, equipamentos urbanos, rede cicloviária, iluminação pública, transporte público e dados demográficos, o GeoSampa oferece uma plataforma abrangente para análise e tomada de decisões com visualização de dados tridimensionais, como edificações. Conforme declarado pela Prefeitura de São Paulo, trata-se de uma ferramenta estratégica de análise e gestão territorial, bem como um portal de dados abertos geoespaciais disponibilizado para toda a população. Seu conteúdo está acessível para uso e compartilhamento livre, com a única exigência de citação da fonte pelo usuário. O acesso a tais dados oferece suporte à participação cidadã, ao monitoramento das políticas públicas e proporciona uma visão integrada da cidade de São Paulo a partir do território representado no mapa.

No contexto Brasil, o Plano de Ação da INDE destaca o SIG-Brasil, que é um geoportal que serve como ponto de entrada ao Diretório Brasileiro de Dados Geoespaciais (DBDG). O DBDG, por sua vez, representa a estrutura fundamental sobre a qual se desenvolve o portal de acesso aos metadados e dados geográficos.

Em termos práticos, a estrutura geral de acesso aos dados segue um processo no qual um usuário utiliza uma interface de busca para realizar sua consulta. Em seguida, o portal faz a requisição a um ou mais servidores de catálogos registrados, os quais consultam suas bases de metadados. A partir dessas bases, os dados são disponibilizados para o usuário.

De acordo com o documento do Perfil MGB (2021), ISO 19115 é um padrão internacional adotado pelo Brasil para metadados geoespaciais, estabelecendo elementos essenciais como título, data, descrição e fonte dos dados. Sua conformidade promove consistência e qualidade nos metadados, facilitando a interoperabilidade e o compartilhamento entre sistemas e usuários. Além disso, a normativa aborda elementos como coordenadas, projeções, escalas e precisão dos dados, oferecendo uma avaliação detalhada da qualidade e confiabilidade das informações. No contexto nacional, é uma norma da INDE, que orienta a produção e compartilhamento de dados geoespaciais. Para dados tridimensionais, o ISO 19115 possui extensões específicas que incluem informações sobre alturas, geometrias 3D e relações espaciais, garantindo uma descrição abrangente e precisa desses dados para diversas aplicações, como planejamento urbano e modelagem ambiental. Essas extensões asseguram que os metadados estejam alinhados com as necessidades de dados 3D, contribuindo para uma gestão mais eficiente e integrada do território nacional.

Tecnicamente, Rezende (2018) complementa que o portal brasileiro de dados geoespaciais, conhecido como portal da INDE, foi criado em 2010 com o objetivo de disponibilizar ferramentas para visualização de dados geoespaciais e um catálogo de metadados. Os metadados desempenham um papel crucial em uma Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE), facilitando a interpretação e uso dos dados pelos usuários ao fornecer informações como escala, ano de elaboração e atualização, entre outros (CINDE, 2010).

O visualizador desenvolvido no portal permite consultar dados alfanuméricos e geoespaciais sem a necessidade de uma plataforma SIG desktop, integrando várias camadas geoespaciais em uma única visualização, além de representar os resultados das buscas e interações realizadas pelo usuário (Jesus, 2018). Além disso, oferece uma API JavaScript simplificada para o desenvolvimento de aplicações que utilizam

mapas, possibilitando sua incorporação em outros sistemas, incluindo aplicações móveis.

O Geoportal possibilita não apenas a visualização, mas também a edição e análise dos dados por meio de geoserviços. Isso inclui a capacidade de realizar cruzamento de dados para gerir a informação e identificar necessidades da população, contribuindo para o desenvolvimento de políticas públicas mais eficazes. Além disso, viabiliza uma visão geral da situação do território e onde devem ser implantados novos tipos de investimentos (Moreira, 2018).

No Plano de Ação da INDE, elaborado em 2010, são definidos os softwares a serem utilizados, conforme Figura 7.

Figura 7 – Softwares.

	Sistema Operacional	Sistema Gerenciador de Banco de Dados	Servidor HTTP	Servidor de mapas (WMS)	Servidor de CSW	Edição de Metadados	Container para Java Servlet
Servidor do Portal SIG Brasil	GNU Linux	PostgreSQL com o módulo espacial PostGIS	Apache	Geoserver	Geonetwork	---	Tomcat
Nó da rede	GNU Linux	PostgreSQL com o módulo espacial PostGIS	Apache	Geoserver	Geonetwork	---	Tomcat
Nó de hospedagem (Infraestrutura de servidores blade do IBGE)	GNU Linux dotado de software de gerenciamento de cluster de servidores	PostgreSQL com o módulo espacial PostGIS	Apache	Geoserver	Geonetwork	Geonetwork	Tomcat

Fonte: INDE,2010.

O GeoNetwork, recomendado no Plano de Ação da INDE, é uma aplicação de catálogo baseada em código aberto que oferece funções de edição e busca de metadados, além de um visualizador de mapas interativo para web (IBGE, 2019). IBGE (2019) define como uma aplicação de catálogo baseada em código aberto, apta para o gerenciamento de recursos de geoinformação, oferece funções de edição e busca de metadados, como também um visualizador de mapas interativo para web, além de suporte ao padrão CSW da OGC (serviços de catálogo).

Por sua vez, o GeoNode tem se destacado no contexto urbano, conforme estudos de Gentile et al. (2023) e Congiu et al. (2023). Ele é uma plataforma para gerenciamento e publicação de dados geoespaciais, permitindo o compartilhamento de dados e a criação de mapas interativos de forma fácil (Brilianto, 2023). Ainda, facilita a interação da comunidade e o controle de qualidade dos dados (Gaoe et al., 2024). Ele permite que cada conjunto de dados em seu sistema seja compartilhado de forma pública ou restrita, permitindo acesso apenas a usuários específicos. Além disso, apresenta recursos sociais, como perfis de usuário, comentários e sistemas de

classificação, que facilitam o desenvolvimento de comunidades em torno de cada plataforma, conforme descrito em Geonode (2024).

A interoperabilidade do GeoNode com os principais sistemas de desktop GIS de código aberto, como QGIS, gvSIG e uDig, permite o compartilhamento de dados geográficos com gestores de dados espaciais institucionais regionais e nacionais (Congiu et al., 2023). Além disso, sua arquitetura flexível e recursos de extensibilidade o tornam uma escolha confiável para análise e processamento de dados geoespaciais (Gentile et al., 2023).

Gaoe et al. (2024) descrevem o GeoNode como uma escolha robusta e confiável para suas atividades, destacando sua capacidade de integrar diversos projetos de código aberto estáveis por meio do framework web Python Django. Suas ferramentas abrangem desde a criação de mapas até a visualização de dados, além de oferecer uma interface gráfica avançada. Os recursos sociais do GeoNode facilitam a interação da comunidade, enquanto sua plataforma suporta múltiplos idiomas e é construída sobre tecnologias como AngularJS, Bootstrap e MapStore2 para aplicações de mapeamento. Na camada de aplicação, utiliza-se Geoserver, GeoWebCache e Pycsw, enquanto o armazenamento de dados é realizado com PostgreSQL e PostGIS para conjunto de dados armazenados em estruturas de dados vetoriais, e Elasticsearch para descoberta de conhecimento. Além disso, o GeoNode permite o desenvolvimento de aplicativos web personalizados com o framework Django, enquanto o Geemap complementa as capacidades de processamento de dados de sensoriamento remoto, tornando o GeoNode uma opção confiável para análise e processamento de dados geoespaciais.

Por outro lado, Congiu et al. (2023) explicam que o GeoNode possibilita a interoperabilidade de dados espaciais, como vetores, raster e modelos 3D, em conformidade com as diretrizes do Open Geospatial Consortium (OGC) e o padrão INSPIRE, por meio dos protocolos de compartilhamento mais comuns, como WMS, WFS e WFS-C. No estudo, a arquitetura do portal é baseada em um servidor em nuvem com o sistema operacional Linux Ubuntu 20.04.02 LTS, equipado com Docker para estabelecer alguns componentes relevantes do portal, como PostGIS (banco de dados espacial), GeoServer (servidor de mapas com serviços padrão OGC), pyCSW e Django com módulos Wagtail e Survey. Os sistemas baseados em plug-ins do

GeoNode permitem aos usuários criarem ferramentas e procedimentos totalmente personalizados relacionados às seções do portal.

Adicionalmente, Gentile et al. (2023) destacam que os dados e metadados são compartilhados em uma plataforma GIS web, permitindo que os cidadãos explorem o território por meio de mapas e widgets analíticos. O GeoNode foi escolhido para o WebGIS devido à sua capacidade de personalização com ferramentas de narrativa quantitativa e geo-storytelling, com design visando acompanhar o planejamento urbano e possibilitar a interação da comunidade. Isso promove um melhor entendimento das transformações territoriais e uma participação pública aprimorada.

A plataforma Cesium é uma ferramenta aberta projetada para capacitar aplicativos de software a explorar todo o potencial dos dados 3D. CesiumJS, sua biblioteca JavaScript de última geração, permite a criação de visualizações 3D precisas na web. Brilianto et al. (2023) destacam que o Geoportal desenvolvido no estudo deles utiliza a plataforma Geonode, que integra componentes como Geoserver, banco de dados e aplicativos da web. Por meio do aplicativo web GeoNode, usuários autenticados podem carregar dados espaciais de diferentes formatos padrão OGC, estilizá-los e fornecer metadados. Desenvolvida com o framework Django, essa aplicação web armazena os dados espaciais carregados no banco de dados PostgreSQL do KKP. Esses dados são convertidos em WMS pelo Geoserver. A lista de camadas espaciais pode ser acessada via API Rest fornecida pela GeoNode, exibindo informações como WMS, nomes de camadas e metadados no Bhumi. O aplicativo web Bhumi possui uma interface realizada utilizando ReactJS, biblioteca JavaScript de código aberto com foco em criar interfaces de usuário em páginas web, e utilizando estilos para visualização da interface com Tailwind CSS. Enquanto, a aplicação é construída pelo software de código aberto NodeJS e *framework* Express. Os mapas são desenvolvidos com Maplibre para 2D, biblioteca TypeScript para renderizar mapas interativos, e Cesium para 3D, biblioteca JavaScript de código aberto para criar globos e mapas 3D de classe mundial com o melhor desempenho, precisão, qualidade visual e facilidade de uso possíveis.

Wenqi Gao (2023) complementa que, para trabalhar com WebGIS e concluir projetos independentemente, é necessário dominar bibliotecas JavaScript como OpenLayers, Cesium e outras. GeoNode oferece suporte ao desenvolvimento de geoportais, consolidando projetos maduros de software de código aberto em uma

interface fácil de usar. Isso permite que usuários não especializados compartilhem facilmente dados e criem mapas interativos.

O trabalho de Gonzalez (2021) implementa a navegação baseada em CesiumJS e realiza o modelo de IDE para visualização 3D em Santiago de Cali, na Colômbia. Essa iniciativa destaca o potencial do CesiumJS para criar visualizações tridimensionais de alta qualidade em projetos de geoinformação.

Em resumo, o Geoportal desempenha um papel fundamental na gestão e compartilhamento de dados geoespaciais, contribuindo para uma melhor compreensão do território e o desenvolvimento de soluções para diversas áreas de aplicação, incluindo o contexto municipal para cidades.

2.1.2. Cidades Inteligentes

No contexto das cidades inteligentes, a infraestrutura de dados espaciais (IDE) desempenha um papel crucial, permitindo a integração de sistemas de informações geográficas (SIG) e Modelagem da Informação da Construção (BIM). Esta integração é fundamental para uma análise abrangente do ambiente urbano e para a tomada de decisões estratégicas.

O conceito de "cidades inteligentes" emergiu na década de 1990 com o objetivo inicial de utilizar as Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) para otimizar a infraestrutura urbana e a gestão de recursos. Com o tempo, esse conceito evoluiu para englobar aspectos sociais, priorizando a melhoria da qualidade de vida dos cidadãos por meio da integração tecnológica e da gestão de dados (Soares et al., 2023). Ugeda (2023) ressalta que os dados, especialmente os geoespaciais, desempenham um papel central nesse processo, permitindo que gestores urbanos tomem decisões mais informadas e estratégicas, o que impulsiona a eficiência dos serviços públicos.

A transformação das cidades inteligentes está marcada pela integração de mecanismos tecnológicos, sociais, técnicos e ambientais, e tem atraído crescente interesse na academia e nas políticas públicas. Embora não exista uma definição única e consensual, um aspecto essencial das cidades inteligentes é o uso das TICs para coleta e análise de dados, com o objetivo de promover a sustentabilidade ambiental e melhorar a qualidade dos serviços urbanos e a vida dos cidadãos (Ribeiro, 2023; Junior, 2023). Ugeda (2023) destaca a importância da geoinformação na

organização desses dados, sendo crucial para compreender as dinâmicas urbanas e implementar soluções voltadas à melhoria da mobilidade, segurança e gestão de recursos. Soares (2023) adverte que, embora as cidades inteligentes prometam avanços significativos, elas também levantam preocupações sobre privacidade e segurança dos dados pessoais, sublinhando a necessidade de equilibrar inovação tecnológica com a proteção dos direitos individuais.

Um aspecto fundamental do desenvolvimento de cidades inteligentes está relacionado ao planejamento urbano estratégico, particularmente no que diz respeito ao Plano Diretor. Dos Santos Cruz (2022) enfatiza a importância de alinhar as políticas públicas, como os Planos Diretores, com a implementação de cidades inteligentes para garantir uma gestão inclusiva e sustentável. O autor aponta que as tecnologias inovadoras devem ser usadas para incluir os cidadãos nos serviços e no acesso aos espaços urbanos, evitando que a modernização tecnológica agrave desigualdades sociais e digitais. Além disso, Dos Santos Cruz (2022) destaca que a revisão periódica dos Planos Diretores é crucial para assegurar a participação popular e a mitigação das vulnerabilidades estruturais que ainda afetam muitas cidades, especialmente no Brasil. Políticas que integram o Plano Diretor e as diretrizes de cidades inteligentes promovem uma gestão pública mais democrática e eficaz.

Nesse contexto, Fonseca (2022) ilustra como a transformação em cidades inteligentes está sendo implementada em Portugal, com foco na integração de tecnologias avançadas em áreas como mobilidade, gestão de resíduos e energia. Cidades como Braga e Lisboa destacam-se pelo uso de tecnologias de sensorização e geoportais para fornecer informações em tempo real sobre o trânsito e otimizar a gestão de tráfego urbano. Em Lisboa, por exemplo, a utilização de radares melhora a fluidez do tráfego. Barreiro lançou uma plataforma baseada em tecnologia 5G para otimizar a coleta de biorresíduos, e Santa Cruz no Funchal implementou um Plano Diretor de Iluminação Pública que inclui sensores para monitorar a qualidade do ar e recursos para o carregamento de veículos elétricos. Essas iniciativas evidenciam o crescente uso de dados e tecnologias digitais para promover a sustentabilidade e a eficiência na gestão urbana.

Junior et al. (2023) realizaram um estudo que mapeia pesquisas, projetos e iniciativas nas capitais brasileiras, revelando que as regiões Nordeste e Sudeste concentraram 21 estudos sobre temas emergentes relacionados às cidades

inteligentes. Esses estudos abordam aspectos como qualidade de vida, tecnologias de comunicação, políticas públicas, dados abertos do governo e Internet das Coisas. Os principais temas discutidos até 2023 incluem governança, modelos de desenvolvimento e o papel do cidadão, com a governança inteligente sendo destacada como crucial para a gestão eficaz das cidades. A qualidade de vida e a integração tecnológica são vistas como fundamentais para o desenvolvimento econômico e o bem-estar da população.

No contexto das cidades inteligentes, a inteligência geográfica ou geanalytics é uma ferramenta crucial. Esse campo estuda componentes e variáveis de natureza espacial que ajudam a explicar fenômenos sociais, econômicos e ambientais. De acordo com De Jesus Procópio (2023), a integração e análise de dados georreferenciados por meio do geanalytics são essenciais para maximizar o potencial das cidades inteligentes. Esses dados possibilitam a aplicação eficaz de políticas públicas e a melhoria em setores como planejamento governamental e marketing empresarial, ampliando a capacidade de gestão urbana ao utilizar informações demográficas e geoinformacionais para decisões mais estratégicas. Segundo Ugeda (2023), a integração de sistemas de geoinformação no contexto urbano permite o mapeamento de vulnerabilidades sociais, o planejamento de infraestruturas críticas e o monitoramento de mudanças ambientais, aumentando a capacidade dos gestores em responder de forma mais ágil e precisa às demandas da população.

Além disso, exemplos internacionais como Copenhague, na Dinamarca, que busca se tornar neutra em emissões de carbono até 2025, e Abu Dhabi, nos Emirados Árabes, com a cidade de Masdar implementando sistemas de energia solar e transporte público elétrico, ilustram a busca por soluções sustentáveis e tecnológicas para desafios urbanos (Brito et al., 2023). Essas iniciativas refletem o compromisso das cidades em reduzir gases de efeito estufa e promover um desenvolvimento urbano mais sustentável, como evidenciado pelo IMD Smart City Index. Esses esforços destacam a importância de integrar tecnologia e sustentabilidade na gestão urbana para criar ambientes mais resilientes e eficientes.

No Brasil, o Programa Brasileiro GHG Protocol (GHC, 2024) tem sido um aliado importante para empresas, fornecendo ferramentas de cálculo para estimativas de emissões de gases do efeito estufa (GEE) e estimulando a cultura corporativa de

inventário de emissões. O Programa busca adaptar o método GHG Protocol ao contexto brasileiro e fornecer padrões de qualidade internacional para contabilização e publicação de inventários de emissões.

A pesquisa realizada por Maraes et al. (2023) destaca a importância de uma infraestrutura adequada para acompanhar a evolução tecnológica nas cidades inteligentes, ressaltando a necessidade de participação ativa de empresas, governo e população. Souza et al. (2023) explicam que as cidades inteligentes melhoram a disponibilidade e a qualidade dos serviços públicos, promovendo crescimento e desenvolvimento sustentável por meio da implementação de sistemas de informação baseados em capacidades da cidade digital. Eles conceituam cidades inteligentes como ambientes urbanos que combinam criatividade, inovação em distritos tecnológicos e a interconexão de redes digitais e serviços online para gerar espaços mais inteligentes.

Além disso, no âmbito das Cidades Inteligentes, a noção de Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE) desempenha um papel crucial. Uma IDE bem desenvolvida fornece a base para a integração de sistemas de informações geográficas (SIG) e Modelagem da Informação da Construção (BIM), permitindo uma análise mais abrangente do ambiente urbano (Nobrega et al., 2022). Ao fornecer acesso a dados geoespaciais de maneira integrada e interoperável, as IDEs facilitam a tomada de decisões estratégicas e o desenvolvimento de soluções inovadoras para os desafios urbanos (Noardo et al., 2020).

A integração entre BIM e SIG, como discutido por Zhu e Wu (2021), oferece suporte a fluxos de trabalho para planejamento, construção, operações e manutenção, ampliando o uso de dados BIM para gerenciar melhor projetos e infraestrutura em um contexto espacial. BIM, ou Modelagem da Informação da Construção, segundo a ABNT (2011), é definido pela ISO 19650 como o uso de uma representação digital compartilhada de um ativo construído para facilitar os processos de projeto, construção e operação, fornecendo uma base confiável para decisões. A norma ISO 19650 estabelece padrões internacionais para a aplicação e implementação do BIM, visando promover seu uso e impulsionar o crescimento do setor da Construção Civil, conforme orientado por Nascimento (2021). O NBIMS (National Building Information Modeling Standards, 2007) retrata o BIM como uma representação digital das propriedades físicas e funcionais de um modelo construtivo. No Brasil, o Decreto nº

9.983, de 22 de agosto de 2019, estabelece a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling (BIM) com o objetivo de promover seu uso no país. O Decreto nº 10.306, de 2 de abril de 2020, determina a utilização do BIM na execução de obras e serviços de engenharia pela administração pública federal, estabelecendo etapas para sua implementação até 2028. Decretos estaduais, como o nº 56.311 de janeiro de 2022, têm sido promulgados para promover iniciativas similares em nível regional, como a estratégia BIMGov RS, visando à inovação tecnológica na qualidade de obras e serviços de engenharia.

Yosino (2020) discute a capacidade do SIG de realizar análises espaciais e organizar camadas de informação em mapas e cenas tridimensionais. Inicialmente, o SIG estava centrado em conjuntos de dados 2D, com limitações significativas em termos de criação e processamento de dados 3D, conforme apontado por Zhu et al. (2018). No entanto, ao integrar o BIM ao SIG, como destacado por Zhu e Wu (2021), tornou-se possível conduzir análises espaciais em uma escala mais detalhada. Elsheikh et al. (2021) explicam que o SIG oferece dados georreferenciados, permitindo análises 3D, espaciais e consultas diversas, enquanto o BIM fornece um banco de dados detalhado de informações paramétricas orientadas a objetos para representação em um modelo 3D. Essa integração é ilustrada pela Figura 8, conforme apresentado por Deritti e Freire (2018), facilitando a compreensão dos benefícios dessa abordagem.

Figura 8 - Integração SIG e BIM.



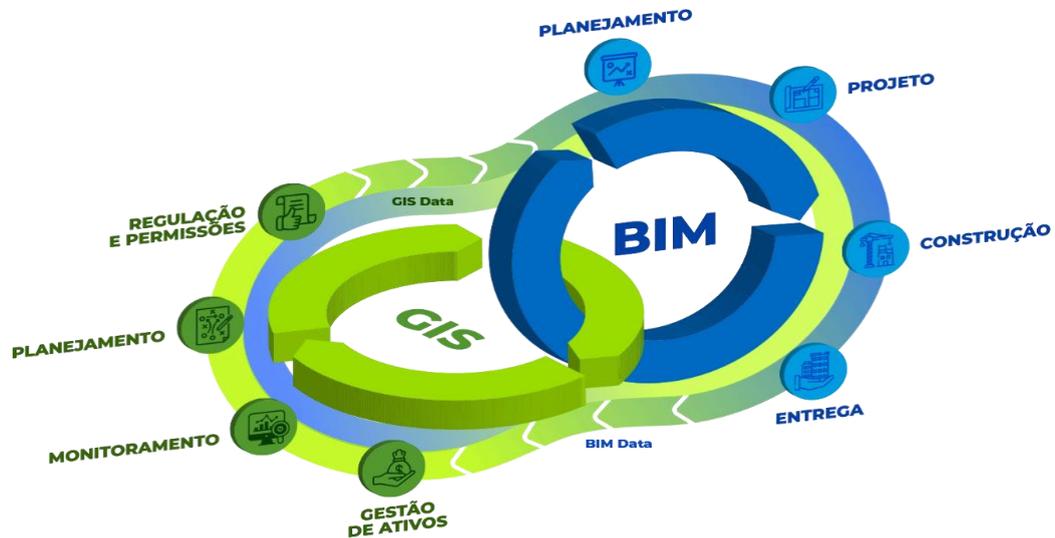
Fonte: DERITTI apud Almeida, 2018.

Lippold (2022) destaca que a integração proporciona suporte a fluxos de trabalho para planejamento, construção, operações, inspeções e manutenção. Além disso, menciona que o poder de utilizar dados BIM se estende para além da incorporação de conteúdo BIM de várias disciplinas, fontes e aplicativos em diferentes fluxos de trabalho ao longo do ciclo de vida dos ativos, o que é relevante para uma gestão mais eficaz de projetos e infraestrutura em um contexto espacial. Esse conceito é denominado City Information Modeling (CIM), conforme referido por Yosino (2020), que pode ser considerado como a versão do BIM aplicada à área do urbanismo, representando um sistema de elementos urbanos por meio de símbolos em espaços bidimensionais e tridimensionais. A autora ressalta que o CIM também tem a capacidade de oferecer suporte à compreensão e gerenciamento de objetos do mundo real por meio de simulações virtuais. Jaime et al(2023) explica que a construção de uma plataforma City Information Modeling (CIM), que visa melhorar a gestão urbana por meio de plataformas digitais inteligentes, utilizando Big Data e modelos 3D para armazenar, controlar e sistematizar informações sobre cidades, é essencial para o gerenciamento eficiente dos ativos urbanos, possibilitando a colaboração entre diferentes departamentos, setores da sociedade e atores, além de permitir a participação dinâmica da população. O CIM emerge como uma tendência relevante para as cidades inteligentes, ao integrar modelos espaciais urbanos, como BIM, SIG e IoT, proporcionando uma base de dados poderosa para o desenvolvimento urbano. Da Silva et al (2023) propõe que estão em desenvolvimento soluções específicas para CIM, as quais se destacam pela modelagem direcionada à cidade, em vez de apenas estender as soluções existentes para edifícios e infraestrutura. Essas soluções, integradas ao GIS, como o CityGML e o 3D City Database, são projetadas para armazenar e trocar modelos virtuais de cidades em três dimensões, sendo exemplificadas por empresas como a virtualcitySYSTEMS.

Deritti e Freire (2018) estabelecem uma relação entre o conceito de Smart Cities e o fluxo de informações entre SIG e BIM. Nesse contexto, Elsheikh et al. (2021) explicam que o SIG é uma tecnologia que fornece informações sobre o contexto do ambiente construído e natural, enquanto o BIM oferece detalhes sobre os ativos. Assim, o fluxo de dados segue uma ordem de planejamento, administração, design e construção. A integração de BIM e SIG com informações temporais permite que os participantes de um projeto compreendam melhor os impactos das decisões tomadas

antes, durante e após a construção de um projeto (Geospatialworld, 2022). A Figura 9 ilustra o fluxo de informações gerado por essa integração.

Figura 9 – Fluxo de informação SIG e BIM.



Fonte: Elaboração própria. Adaptado de *Geospatialworld*, 2022.

Um software SIG oferece a capacidade de visualizar informações geográficas em todo o mundo por meio de mapas sobrepostos. Yosino (2019) ressalta a importância de encontrar softwares que possam operar com perfeita interoperabilidade para garantir o sucesso da simulação baseada no conceito CIM. No entanto, quando a interoperabilidade entre sistemas não alcança seu potencial máximo, ocorre a perda de informações cruciais para a compreensão da modelagem computacional.

O estudo de Noardo (2020) investiga a relação entre BIM, especialmente dado IFC, e como auxiliar os designers na integração de georreferenciamento ao BIM, garantindo sua correta localização no IFC. Nesse sentido, um dos aspectos do estudo é a interpretação da legislação municipal de Roterdã, nos Países Baixos. Esta análise inclui a avaliação da altura total do edifício de acordo com os regulamentos de Roterdã, bem como a compreensão da relação entre a edificação e a proximidade da estrada.

No que diz respeito à transformação de árvores em IFC, é crucial que os dados bidimensionais de ponto sejam convertidos em objetos tridimensionais com volume. Parâmetros como o volume ocupado pela árvore e sua altura máxima são essenciais nesse processo. A definição do volume máximo construtível é estabelecida pelos

regulamentos de zoneamento, que limitam a altura dos edifícios, especificam as formas de cobertura permitidas e outros detalhes geométricos. Além disso, é necessário respeitar as distâncias mínimas em relação aos edifícios existentes. A integração do SIG pode ser aprimorada com a inclusão de dados BIM de projetos executados (Chognard, 2018).

Zhu et al. (2019) empregam um processo de extrusão na análise de uma ponte, direcionando a extrusão em $\frac{1}{4}$ da direção de profundidade. Os detalhes desse processo são apresentados no artigo. Chognard (2018) demonstra a viabilidade de carregar um modelo IFC em um servidor BIM desenvolvido pelos autores, destacando a utilidade desse servidor como plataforma cooperativa para o controle de licenças de construção. Isso não apenas impede que os designers percam tempo devido à falta de documentos, mas também otimiza o trabalho administrativo em projetos.

Noardo et al. (2020) discutem o conceito de GeoBIM, a integração entre GIS e BIM, que está se tornando uma realidade emergente. Noardo (2021) destaca a importância da análise da altura da edificação para compreender melhor o contexto urbano e facilitar os processos de licenciamento. A avaliação do BIM em um contexto geográfico permite diversas análises e verificações regulatórias, contribuindo tanto para o desempenho da edificação quanto para o planejamento urbano. Portanto, a interoperabilidade e, opcionalmente, a integração desses sistemas de informação espacial são cruciais para automatizar e digitalizar o licenciamento de edifícios (Noardo, 2022).

Knoop (2021) exemplifica que o plano diretor (PD), principal instrumento da gestão urbana, enfrenta falta de efetividade devido a diversos problemas, incluindo as dificuldades dos órgãos públicos em armazenar e disponibilizar informações sobre espaços, patrimônio e ambiente construído das cidades. Enfatiza-se que a integração entre SIG e BIM pode servir como ponto de partida para a convergência dos sistemas de informações urbanos, oferecendo possibilidades para a integração tecnológica por meio do monitoramento e planejamento. Noardo (2022) ressalta ser uma etapa crítica para realizar diversas análises e verificar muitas regulamentações que medem não apenas o desempenho da edificação, mas também consideram o impacto da construção projetada no contexto do planejamento e, por sua vez, das condições do contexto nas performances do edifício. Por esta razão, os autores mencionam que a interoperabilidade e, opcionalmente, a integração desses dois sistemas de informação

espacial são necessárias para a automatização e digitalização do licenciamento de edifícios.

Os municípios brasileiros possuem um código de edificações que dispõe sobre as regras gerais e específicas a serem obedecidas no projeto, licenciamento, execução e manutenção das edificações. O Decreto nº 43.056, de 03 de março de 2022, que regulamenta a Lei nº 6.138, de 26 de abril de 2018, estabelece que o alvará de licença é o documento que autoriza a execução, sendo obrigatório para início da execução de todas as obras sujeitas ao processo de licenciamento. Além disso, traz informações sobre a edificação, como a altura, ou gabarito de fachada, e altura máxima ou cota de coroamento da edificação, medida a partir da cota de soleira indicada no projeto arquitetônico. Chognard (2018) traz um modelo IFC em um servidor BIMserver, desenvolvido pelos autores, como parte de uma plataforma para licenciamento de construção, demonstrando a usabilidade deste BIMserver para automatizar as licenças de construção.

Conforme observado por Moraes (2023), as cidades inteligentes desempenham um papel fundamental não apenas no desenvolvimento dos municípios, mas também na qualidade de vida dos cidadãos. Pagel et al. (2024) defendem a necessidade urgente de estabelecer quadros de ação eficazes para promover a urbanização sustentável, envolvendo governança urbana, planejamento e gestão do desenvolvimento urbano. Destaca-se ainda a importância da integração de tecnologias como BIM e SIG, que desempenham um papel crucial nesse processo, permitindo que as cidades aproveitem ao máximo os recursos disponíveis e promovam o bem-estar de seus habitantes.

Junior (2023) ressalta que o geoprocessamento emerge como uma vantagem crucial para a implementação e construção de cidades inteligentes, visando alcançar as metas e objetivos do desenvolvimento sustentável. Além disso, Pagel et al (2024) argumentam que as concepções de cidades "inteligentes" e "sustentáveis" estão cada vez mais interligadas, compartilhando objetivos semelhantes de melhorar a qualidade de vida e reduzir o impacto ambiental. Destaca-se, portanto, que o futuro das cidades está intimamente ligado ao desenvolvimento de soluções inteligentes e sustentáveis, com as cidades inteligentes liderando esse movimento de transformação urbana.

Ao redor do mundo, destacam-se duas importantes iniciativas para modelagem urbana em três dimensões (3D): o 3DBAG e o 3DCityDB. O 3DBAG, originário dos

Países Baixos, consiste em um sistema de banco de dados 3D que abriga modelos detalhados de edifícios e infraestruturas urbanas em um formato digital. Essa ferramenta possibilita uma representação fiel do ambiente urbano em 3D, incluindo informações sobre alturas de edifícios, tipos de uso do solo e características geométricas precisas. Por sua vez, o 3DCityDB é amplamente utilizado globalmente como um banco de dados espacial tridimensional, como Berlim e Nova York. Projetado para armazenar e gerenciar dados urbanos complexos em um contexto 3D, ele adere ao padrão CityGML. Com o 3DCityDB, é viável armazenar informações detalhadas sobre edifícios, ruas, terrenos e outros elementos urbanos, facilitando análises espaciais e simulações para o planejamento urbano. Ambos os sistemas oferecem modelos de cidades realistas e precisos, fundamentais para uma gestão urbana eficaz e sustentável em diversas partes do mundo.

Essas iniciativas, 3DBAG e 3DCityDB, são guiadas pelo padrão CityGML, um formato de intercâmbio de dados tridimensionais usado para representar informações geoespaciais urbanas, assegurando a consistência e interoperabilidade dos dados, permitindo uma representação detalhada e precisa de edifícios, ruas, terrenos e outros elementos urbanos. Esses modelos têm sido amplamente empregados em projetos de planejamento urbano e gestão de cidades, fornecendo uma base sólida para análises e tomadas de decisão embasadas em dados concretos.

Como exemplo, a Figura 10 mostra a Faculdade de Ciência da Informação Geográfica e Observação da Terra – ITC, localizada na cidade de Enschede, Países Baixos. São possíveis de visualização atributos relacionados a geometria. Os detalhes do metadado pode ser acessado através 3Dbag, disponível em: <https://3dbag.nl/en/download?tid=8-960-664>.

Figura 10 - Iniciativa 3DBAG.



Fonte: 3DBAG,2023.

A integração entre SIG e IDE desempenha um papel crucial no desenvolvimento e na gestão de cidades inteligentes. Ao conectar e harmonizar dados geoespaciais de diversas fontes, essa integração permite uma análise abrangente do ambiente urbano, facilitando a tomada de decisões estratégicas e o desenvolvimento de soluções inovadoras para os desafios urbanos. A participação ativa de empresas, governo e população é fundamental para garantir o sucesso desses empreendimentos. Políticas públicas e regulamentações adequadas são essenciais para promover a integração dessas tecnologias e impulsionar o desenvolvimento sustentável das cidades, visando melhorar a qualidade de vida dos cidadãos e reduzir o impacto ambiental. Assim, as cidades inteligentes representam uma oportunidade para transformar positivamente o meio urbano e promover um futuro mais sustentável e inclusivo para todos.

2.1.3. Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental

A certificação em sustentabilidade ambiental tem emergido como uma ferramenta central na promoção de práticas que equilibrem o desenvolvimento econômico e a preservação dos recursos naturais. Sustentabilidade é definida como a capacidade de atender às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações de atenderem às suas próprias necessidades,

englobando a gestão equilibrada dos recursos ambientais, sociais e econômicos (Rocha, 2023). Nesse contexto, programas de certificação ambiental são estabelecidos para promover iniciativas sustentáveis que abordem diretamente questões como mudanças climáticas, eficiência energética e gestão de recursos.

Entre os principais programas de certificação estão a ISO 14001, que define requisitos para a implementação de sistemas de gestão ambiental em organizações de diversos setores. A norma fornece uma estrutura baseada no ciclo PDCA (Planejar-Fazer-Verificar-Agir), o qual facilita a gestão contínua de impactos ambientais (Gomes & Santos, 2024). Além disso, a Global Reporting Initiative (GRI) desempenha um papel importante ao fornecer um conjunto de normas para o relato de sustentabilidade, ajudando organizações a comunicarem seus esforços de maneira mais transparente e alinhada com padrões globais (Vieira & Oliveira, 2023).

Os programas de certificação ambiental têm sido uma ferramenta eficaz para garantir práticas sustentáveis em diversas áreas. Certificações como LEED, o selo Fair Trade, o IBD, AQUA-HQE, CASA AZUL, Forest Stewardship Council (FSC), BONSUCRO, Green Building Council (GBC) e CERFLOR/PEFC são reconhecidas mundialmente e atestam o comprometimento das organizações com a preservação do meio ambiente, responsabilidade social e desenvolvimento sustentável (Amorim et al., 2023). No Brasil, a distribuição dessas certificações pode variar de região para região. Em um estudo realizado por Reali (2023), a adesão às estratégias da certificação LEED foi analisada em 768 projetos distribuídos por 21 estados brasileiros. A pesquisa revelou que categorias como Qualidade Ambiental Interna, Materiais e Recursos, Eficiência Hídrica, Prioridade Regional e Inovação apresentaram adesão uniforme independentemente da zona bioclimática, enquanto categorias como Energia e Atmosfera e Terrenos Sustentáveis mostraram variações significativas. As categorias de Energia e Atmosfera, Qualidade Ambiental Interna e Eficiência Hídrica foram mais priorizadas em Edifícios Existentes, enquanto Materiais e Recursos, Prioridade Regional e Inovação foram mais valorizadas em Novas Construções (Reali, 2023).

O programa de certificação ambiental no Brasil é o Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental de Porto Alegre. Criado pela Lei Complementar nº 872, de 2020, e regulamentado pelo Decreto 21.789 de 2022, este programa avalia empreendimentos com base em sete dimensões da sustentabilidade, conferindo selos

de bronze, prata, ouro ou diamante, conforme o desempenho em critérios como eficiência energética, conservação da biodiversidade, gestão de resíduos e adequação climática. Este programa reflete a tendência de integrar critérios ambientais específicos nas políticas urbanas, promovendo o desenvolvimento sustentável local.

As certificações ambientais podem ser nacionais, como o Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental de Porto Alegre, ou internacionais, como o LEED, reconhecido globalmente. Uma diferença significativa entre os programas nacionais e internacionais é a adaptação às realidades locais. Certificações internacionais frequentemente abordam uma gama mais ampla de critérios globais, enquanto as certificações nacionais tendem a focar nas necessidades específicas de cada país ou região. No Brasil, por exemplo, programas como o CASA AZUL e o CERFLOR/PEFC consideram aspectos socioambientais mais ligados à realidade brasileira, enquanto certificações como a ISO 14001 e o LEED têm uma aplicação mais universal, com foco em padrões amplamente aceitos internacionalmente.

Cidades como São Paulo, Curitiba, Nova York e Amsterdã estão na vanguarda das iniciativas que integram certificações ambientais em seus planos de urbanização, promovendo o uso de infraestruturas verdes e a adoção de soluções tecnológicas para a gestão dos espaços urbanos (Santos & Freiria, 2023). Essas práticas incluem o uso de materiais de construção sustentáveis e a implementação de sistemas de drenagem urbana capazes de mitigar os impactos das enchentes e reduzir as emissões de gases de efeito estufa.

A certificação em sustentabilidade, além de fornecer diretrizes para a gestão eficiente de recursos, também se alinha aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, especialmente o ODS 11, que trata de cidades e comunidades inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis (Vieira & Oliveira, 2023). Dessa forma, as certificações ambientais permitem que municípios e organizações demonstrem seu compromisso com a preservação ambiental e o desenvolvimento urbano sustentável, estabelecendo parâmetros reconhecidos internacionalmente e incentivando o engajamento da sociedade na promoção de práticas responsáveis.

No entanto, o processo de certificação não é isento de desafios. Um dos principais entraves é a dificuldade de integrar essas certificações em um ambiente

legal e regulatório que, muitas vezes, ainda está em fase de consolidação (Amorim et al., 2023).

Um dos principais entraves é a dificuldade de integrar essas certificações em um ambiente legal e regulatório que, muitas vezes, ainda está em fase de consolidação (Amorim et al., 2023). Além disso, o custo para obter certificações como LEED e ISO 14001 pode ser elevado, especialmente para pequenas empresas, o que limita sua adoção generalizada.

No contexto dos desafios enfrentados pelos programas de certificação, o estudo de Cruz (2023) revela que a região Sudeste do Brasil, especialmente São Paulo, lidera o número de empreendimentos certificados pelo Selo Casa Azul, com a maioria dos empreendimentos alcançando a gradação Safira/Ouro. A pesquisa identificou que as ações mais comuns foram voltadas ao Desenvolvimento Social e Inovação, com uma relação significativa entre as categorias do Selo e os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU. A limitação do estudo foi a amostra restrita aos empreendimentos financiados pela Caixa Econômica Federal, sugerindo a necessidade de futuras pesquisas que incluam outros bancos e certificações. O estudo conclui que o Selo Casa Azul incentiva práticas sustentáveis e inovadoras, beneficiando construtores, usuários e a sociedade em geral, e destaca a importância de critérios adicionais, como saúde e segurança no trabalho (Cruz, 2023).

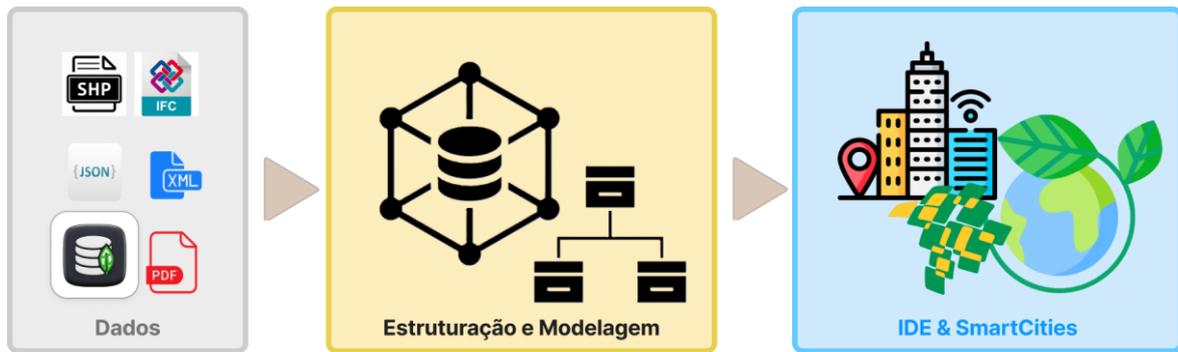
Conclui-se, portanto, que o Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental desempenha um papel vital na promoção de cidades mais sustentáveis e resilientes. A integração entre normas internacionais, como a ISO 14001, e programas locais, como o de Porto Alegre, estabelece um caminho claro para que as cidades possam desenvolver infraestrutura de forma sustentável.

2.2. Metodologia

Este capítulo descreve a metodologia proposta para a inserção eficiente de dados provenientes do Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental de Porto Alegre na Infraestrutura de Dados Espaciais do município, visando aprimorar o planejamento urbano e fornecer suporte à visualização 3D para incentivar a ideia de *Smart Cities*. A metodologia é delineada em uma série de etapas, cada uma direcionada a aspectos específicos do processo de integração de dados na Infraestrutura de Dados Espaciais de Porto Alegre. As etapas detalhadas incluem a

coleta e organização dos dados do programa, a modelagem e estruturação desses dados para garantir sua inserção eficiente na IDE municipal, para futura integração da metodologia no geoportal da cidade para acesso público. A Figura 11 apresenta uma visão geral do fluxo para uma melhor compreensão inicial.

Figura 11- Concepção Geral



Fonte: A autora,2024.

Durante a fase de coleta de dados, foram adquiridos documentos documentais sobre a Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE) de Porto Alegre, incluindo decretos e leis pertinentes. Também foi consultado o Formulário de Certificação em Sustentabilidade Ambiental através da plataforma Portal do Licenciamento da Prefeitura de Porto Alegre (<https://licenciamento.procempa.com.br/>), além de formulários de feedback e controle geral do funcionamento deste formulário, fornecidos pela Diretoria de Projetos e Políticas de Sustentabilidade (DPPS). A pesquisa documental incluiu também a análise da bibliografia sobre OGC CityGML, assegurando a obtenção de informações relevantes e atualizadas sobre a normativa utilizada para a estruturação dos dados.

Para a estruturação dos processos e fluxos, foi utilizada a aplicação draw.io (<https://draw.io/>) para a elaboração do diagrama UML, uma ferramenta multiplataforma de desenho gráfico desenvolvida em HTML5 e JavaScript, ideal para a criação de diagramas variados, de acesso gratuito.

Na fase de visualização, foram consultadas a plataforma bidimensional com dados denominada DMWeb (<https://dmweb.procempa.com.br/dmweb/>), onde são disponibilizadas informações urbanísticas e limitações administrativas incidentes sobre os imóveis de Porto Alegre. Ainda, camadas disponibilizadas publicamente pela Prefeitura de Porto Alegre, pelo no repositório ObservaPoa(

<https://prefeitura.poa.br/smpae/observapoa>). O ArcGIS Pro 2.9, software da empresa americana Esri, foi utilizado para a inserção e análise dos dados, aproveitando a integração com o repositório existente na plataforma ArcGIS. Ele possui licença educacional gratuita fornecida pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), e a escolha do ArcGIS Pro se deve à disponibilidade da UFRGS e à fase de execução da IDE de Porto Alegre.

Em seguida, ocorre a organização e estruturação dos dados para modelagem de dados, que consiste na classificação e organização dos dados de acordo com sua natureza e relevância para a integração. Esta etapa envolve a conversão dos dados existentes em formatos compatíveis com a IDE municipal, seguindo padrões e normas estabelecidos. Com isso, após a organização dos dados, prossegue-se com a modelagem conceitual dos dados, seguindo os padrões estabelecidos para o uso de dados tridimensionais. Nessa etapa, os dados estruturados são modelados de acordo com as diretrizes específicas para representação e manipulação de informações em três dimensões. Isso envolve a definição de classes, atributos e relacionamentos que atendam aos requisitos para dados tridimensionais na IDE do município de Porto Alegre. A modelagem conceitual visa garantir não apenas a integração dos dados na IDE, mas também sua consistência e interoperabilidade com outros conjuntos de dados tridimensionais, contribuindo para uma representação precisa e compreensível do ambiente urbano. Essa abordagem é essencial para assegurar que os dados integrados possam ser facilmente acessados, consultados e utilizados de forma eficiente pelos usuários da infraestrutura municipal.

Após a organização dos dados e modelagem conceitual de acordo com os padrões estabelecidos para o uso de dados tridimensionais, foi realizada a definição da área de análise e visualização. Nesta etapa, foi identificada uma área específica dentro do município de Porto Alegre para servir como foco da análise e visualização dos dados. Além disso, foram selecionadas as camadas de dados que serão incluídas na visualização, considerando as necessidades e objetivos desta pesquisa. Foram determinados também os parâmetros e critérios para a representação visual das camadas selecionadas, garantindo uma apresentação clara e informativa das informações aos usuários. Embora não envolva a criação de um protótipo ou teste do visualizador, esta etapa é crucial para estabelecer os parâmetros iniciais da visualização, delimitando a área de interesse e identificando as camadas de dados

que serão apresentadas aos usuários, fornecendo uma direção clara para o desenvolvimento posterior do visualizador. Assim, foi executada a metodologia disposta no fluxograma da Figura 12.

Figura 12 - Fluxograma da metodologia utilizada



Fonte: A autora, 2024.

2.2.1. Coleta de dados

2.2.1.1. IDE Municipal

A pesquisa apresenta uma visão geral da Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE) Municipal, destacando que se trata de um projeto em fase de desenvolvimento, o que limita a disponibilidade de informações para esta pesquisa. Para contornar essa limitação, foram utilizadas informações disponíveis no portal da Secretaria Municipal de Planejamento e Assuntos Estratégicos (SMPAE).

A SMPAE desempenha um papel crucial no planejamento estratégico e na implementação de políticas de modernização administrativa do Executivo Municipal. De acordo com o Decreto nº 21.355/2022, a SMPAE é responsável por formular e acompanhar o planejamento estratégico e integrar projetos estratégicos para melhorar a eficiência dos serviços públicos e atender às necessidades da cidade.

O Decreto nº 21.355/2022 estabelece, em seu artigo 11, que o Projeto Geoprocessamento Corporativo tem como objetivo principal o desenvolvimento e a implementação do GeoPortalPOA, que se tornará a principal Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE) de Porto Alegre. O GeoPortalPOA visa centralizar e disponibilizar dados e metadados geoespaciais da Prefeitura de Porto Alegre, definindo um modelo de governança para a geoinformação, estabelecendo processos para a produção e o compartilhamento de dados e fornecendo os ambientes necessários para atender às demandas geoespaciais do município. O projeto é uma meta estabelecida no

Programa de Metas 2021 da Prefeitura de Porto Alegre, reforçando sua importância e priorização desde então.

O GeoNode foi selecionado como a solução para o GeoPortalPOA, sendo um sistema de gestão de conteúdo (CMS) de código aberto especializado em dados geoespaciais. A escolha do GeoNode está formalizada no resultado da licitação pública, que especifica a contratação de consultoria técnica para customização, parametrização e desenvolvimento do sistema, descrito no Pregão Eletrônico 570/2023.

Para a customização e parametrização do GeoNode, será utilizado um banco de dados relacional, que emprega SQL (Structured Query Language) para a gestão e manipulação dos dados. SQL é uma linguagem padrão utilizada para interagir com sistemas de gerenciamento de banco de dados relacionais, permitindo a realização de consultas, atualizações e manutenção dos dados. A adoção de um banco de dados relacional com SQL garantirá a integridade, a segurança e a eficiência na gestão dos dados geoespaciais no GeoPortalPOA.

O Decreto nº 21.355/2022 também define responsabilidades para a Coordenação de Avaliação de Políticas Públicas e Resultados (CAPPR) e para a Coordenação de Planejamento e Gestão de Tecnologias da Informação e Comunicações (CGTI). O artigo 11 do decreto atribui à CAPPR o desenvolvimento e a atualização dos dados geoespaciais para o GeoPortalPOA, bem como a proposta e a implementação de estratégias para a disponibilização de informações. Já o artigo 18 estabelece que a CGTI é responsável por promover a integração das estratégias de TI, elaborar e propor políticas e diretrizes relacionadas às soluções de TI e governança de dados, além de garantir a segurança da informação de acordo com a legislação vigente.

Dessa forma, o Projeto Geoprocessamento Corporativo, sob a coordenação da SMPAE, visa estabelecer uma estrutura robusta para a Infraestrutura de Dados Espaciais de Porto Alegre, contribuindo significativamente para a gestão e a disponibilização de dados geoespaciais da cidade.

2.2.1.2. Formulário do Programa CS

O Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental de Porto Alegre é regido pelo Decreto 21.789 de 19/12/2022, que estabelece as diretrizes para promover práticas sustentáveis em edificações, tanto comerciais quanto residenciais. Esse programa representa uma importante iniciativa da prefeitura para reconhecer projetos que implementam medidas de sustentabilidade, promovendo a redução de impactos ambientais e incentivando práticas mais eficientes no uso de recursos. A adesão a este programa não apenas reconhece o compromisso das entidades com a sustentabilidade, mas também contribui de forma significativa para a melhoria das condições ambientais da cidade, promovendo o bem-estar da sociedade, a preservação dos recursos naturais e a mitigação das emissões de gases de efeito estufa.

Além disso, o decreto define o sistema de pontuação do programa. Explica as 7 dimensões que compõem o formulário de certificação através do Artigo 8, além de anexar o quadro de pontuação, onde são abordadas as 43 perguntas do formulário de certificação em sustentabilidade ambiental. Os empreendimentos novos ou existentes são avaliados podendo receber a pontuação de acordo com a quantidade de dimensões requeridas e aceitas pela equipe de análise. Portanto, o requerente poderá obter certificados, conforme Figura 13, sendo eles: bronze para duas dimensões, prata para três dimensões, ouro para quatro dimensões e diamante para cinco dimensões.

Figura 13 - Selos da Certificação em Sustentabilidade ambiental



Fonte: Prefeitura de Porto Alegre, 2024.

A Lei Complementar nº 872 de 10 de janeiro de 2020, que criou o Programa de Premiação e Certificação em Sustentabilidade Ambiental, estabelece que a premiação e a certificação serão concedidas anualmente a iniciativas que se destaquem em boas práticas e atividades sustentáveis. Os critérios incluem não apenas aspectos

ambientais, como eficiência no consumo de recursos naturais e redução de impactos, mas também consideram a promoção da acessibilidade, mobilidade urbana e humanização dos espaços, demonstrando uma abordagem holística para o desenvolvimento sustentável.

Os principais benefícios e incentivos à adesão desse programa incluem a promoção de construções mais sustentáveis e a possibilidade de edificações novas ajustarem sua altura conforme o nível de certificação obtido, de acordo com a localização do empreendimento. Essa flexibilidade é crucial para o planejamento urbano da cidade, pois incentiva a adoção de medidas de sustentabilidade em projetos, impactando diretamente o desenvolvimento vertical das edificações. Projetos executados, por sua vez, podem receber apenas o benefício de redução do IPTU, sem a possibilidade de ajustes na altura.

Conforme as diretrizes do manual do requerente, os incentivos estão relacionados principalmente à altura máxima da edificação proposta, não sendo concedidos benefícios em relação à altura em divisa ou à altura da base do edifício. Ademais, esses incentivos não são aplicáveis nos Programas de Reabilitação do Centro Histórico e de Regeneração Urbana do 4º Distrito, sendo importante ter conhecimento destas limitações geográficas. As proporções de acréscimo de altura conforme a Certificação são as seguintes:

- I – 10% para Certificação Prata;
- II – 15% para Certificação Ouro;
- III – 20% para Certificação Diamante.

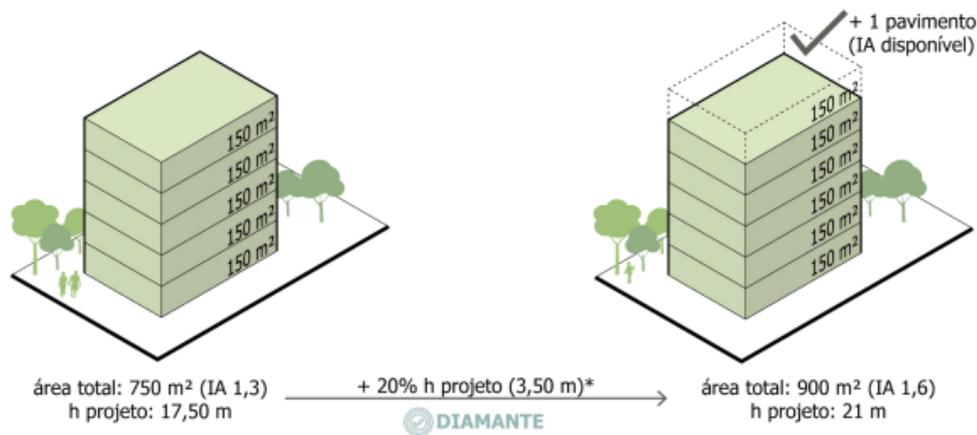
O acréscimo será determinado considerando a altura da edificação proposta, levando em conta os afastamentos e os benefícios de altura aplicados. É essencial destacar que a altura da edificação está sempre sujeita às restrições estabelecidas pelo Índice de Aproveitamento (IA) e pela Zona de Restrição Aeroportuária (V COMAR de 13 de maio de 2011).

Portanto, edificações novas certificadas nas categorias prata, ouro ou platina podem solicitar a ampliação de altura, um benefício que visa alinhar o desenvolvimento urbano com os princípios de sustentabilidade. Essa flexibilidade é parte do conceito de solo criado, um instrumento urbanístico que permite a construção acima do coeficiente básico estabelecido por lei. O solo criado, que separa o direito

de propriedade do direito de construir, é uma ferramenta crucial para o adensamento urbano, garantindo que as áreas com maior densidade populacional sejam desenvolvidas de forma ordenada e sustentável.

O incentivo se aplica à altura máxima da edificação planejada, não havendo benefício relacionado à altura em si, a Figura 14 exemplifica esta alteração para uma certificação Diamante.

Figura 14- Altura máxima da edificação



Fonte: Manual de Certificação em Sustentabilidade Ambiental, 2023.

Atualmente, o processo de Licenciamento em Porto Alegre é gerido pelo Portal do Licenciamento, que abrange mais de 200 serviços, incluindo a certificação em sustentabilidade. Esse serviço é fruto da colaboração entre a Diretoria de Projetos e Políticas de Sustentabilidade (DPPS), a Diretoria do Escritório de Licenciamento (DEL | CGPP) e a Procempa (SmartPoa). O Escritório de Licenciamento é responsável pela análise, aprovação e licenciamento de empreendimentos, tanto com impacto urbano quanto sem. Além disso, o escritório gerencia a estruturação urbana e viária, os espaços públicos e a paisagem urbana, e desenvolve planos, projetos e instrumentos urbanísticos, atuando de forma integrada com os demais órgãos da administração pública.

Para obter a Certificação em Sustentabilidade Ambiental, o requerente acessa o Portal do Licenciamento e inicia o processo de requisição. Este processo se aplica a edifícios comerciais e residenciais que atendem aos critérios de sustentabilidade, tanto para novos projetos quanto para projetos existentes. Projetos novos podem ajustar a altura das edificações de acordo com a certificação recebida, excluindo a

categoria bronze. A análise do pedido é feita através do sistema BPM (*Business Process Management*), que gerencia e distribui as tarefas de forma interna. O acompanhamento do processo pode ser realizado pelo número do Sistema Eletrônico de Informações (SEI) ou pelo sistema Expedientes. Por fim, O sistema Expediente Único, acessível via Portal do Licenciamento, mantém o histórico do processo, incluindo aprovações e status do projeto. Os dados são armazenados em um banco de dados MongoDB, e o sistema utiliza um formulário JSON para coleta e análise das informações. Ainda, o sistema DMWeb é utilizado para consulta de requisitos urbanísticos, mas não possuem integração direta com o sistema de certificação.

Assim, o processo de certificação em sustentabilidade ambiental em Porto Alegre inicia-se com o preenchimento de um formulário no Portal do Licenciamento. Este formulário solicita informações sobre o responsável técnico, o requerente e o empreendimento, além do endereço do imóvel. O projeto é classificado como novo ou existente, sendo que projetos existentes fornecem dados que podem ser utilizados para obter benefícios futuros ou aumentar a visibilidade do empreendimento. Projetos propostos podem incluir modificações na altura da edificação e aquisição de solo criado, o que é essencial para o adensamento urbano.

Então, o empreendimento é avaliado em relação a 7 dimensões de sustentabilidade, conforme Decreto 21.789, de 19/12/2022. Essas dimensões abrangem um total de 43 perguntas distribuídas em diferentes subdimensões, cada uma relacionada a aspectos específicos de sustentabilidade. Os questionamentos estão organizados para avaliar o empreendimento em relação às seguintes áreas:

I. Conservação da Biodiversidade Local, que inclui questões sobre Cobertura Vegetal, Fauna e Espécies Ameaçadas;

II. Adequação às Condições Climáticas, abrangendo Redução do Efeito Ilhas de Calor, Desempenho Envolvente e Ventilação e Iluminação Naturais;

III. Água, envolvendo Uso Eficiente da Água, Controle e Gerenciamento de Águas Pluviais e Aproveitamento de Águas Pluviais;

IV. Energia e Emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE), que engloba Iluminação Artificial Eficiente, Energia Renovável e Aquecimento Solar da Água;

V. Resíduos, incluindo Coleta Seletiva, Gerenciamento de Resíduos e Compostagem;

VI. Materiais, abrangendo Adesivos, Selantes e Tintas, Materiais Rapidamente Renováveis, Materiais Regionais e Materiais Recicláveis;

VII. Acessibilidade, Mobilidade e Humanização das Edificações e dos Espaços Urbanos, que envolve itens como Transporte Coletivo, Bicicletário e Vagas para Veículos Elétricos.

Cada uma dessas subdimensões possui questões específicas para avaliar o empreendimento em relação aos seus impactos ambientais e práticas sustentáveis.

▪ **Conservação da Biodiversidade Local**

○ Cobertura Vegetal

1. Porcentagem de uso de espécies nativas autóctones implantadas (com relação ao total da vegetação) considerando o número de espécies.

2. Porcentagem de espécies nativas preservadas, quantificadas individualmente ou em área, considerando o total da vegetação original.

3. Espécies ameaçadas.

○ Fauna

4. Adotar, em todas as áreas envidraçadas, transparentes ou espelhadas de edificações, medidas para evitar o choque de aves contra os vidros.

▪ **Adequação às Condições Climáticas**

○ Redução do Efeito Ilhas de Calor:

5. Áreas cobertas

6. Áreas descobertas externas

7. Telhado verde

8. Parede verde

○ Envoltória:

9. Desempenho Envoltória

10. Ventilação e Iluminação Naturais

▪ **Água**

Uso Eficiente da Água:

11. Implantar estratégias que reduzam o consumo de água utilizado em vasos sanitários, mictórios, lavatórios, chuveiros e cubas de cozinha.

12. Águas cinzas

13. Águas negras

14. Aproveitamento de águas pluviais

15. Uso eficiente de água no paisagismo

Fontes de Aquecimento de Água:

16. Aquecimento solar da água

Controle e Gerenciamento de Águas Pluviais:

17. Implantação de pelo menos 5% de área permeável a mais do que o exigido no artigo 96 da LC 434/99, consideradas as especificidades de cada caso previstas nos § 1 a § 12.

18. Utilização de pavimentação permeável drenante em pelo menos 50% da área de passeio pavimentado.

▪ **Energia e Emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE)**

○ Iluminação Artificial Eficiente:

19. Eficiência do sistema de iluminação

20. Dispositivos de controle

21. Iluminação Externa

○ Energia Renovável:

22. Geração local de energia renovável

▪ **Resíduos**

23. Coleta Seletiva

24. Gerenciamento de Resíduos

25. Resíduos Sólidos

26. Compostagem

27. Desenvolver Plano de Gerenciamento de Resíduos Sólidos no qual pelo menos 25% dos resíduos sejam desviados de aterros através de redução, reutilização ou

reciclagem. Os locais de destinação devem ser ambientalmente adequados para este fim.

▪ **Materiais:**

28. Pelo menos 50% de toda a madeira utilizada na obra (temporária e permanente) deverá ser certificada - apresentar Certificação do IBAMA.

29. Adesivos, selantes e tintas

30. Materiais Rapidamente Renováveis

31. Materiais regionais

32. Materiais recicláveis

▪ **Acessibilidade, Mobilidade e Humanização das Edificações e dos Espaços Urbanos**

33. Transporte coletivo

34. Bicicletário

35. Vagas para veículos elétricos

36. Recuos

37. Alinhamento frontal

38. Materiais da fachada frontal

39. Fachadas

40. Áreas externas

41. Paisagismo área frontal da edificação

42. Paraciclo

43. Horta

2.2.1.2.1. Controle Geral

A equipe da DPPS forneceu um arquivo em formato Excel, apresentando um controle abrangente de todas as solicitações recebidas desde o início da implementação do Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental.

Esse controle é fundamental para o andamento deste trabalho, pois inclui uma variedade de informações, tais como: número da requisição, número de cadastro no

sistema SEI, Expediente Único (EU), pontuações por dimensão, selo obtido, requerente, endereço, data de entrada e data de saída do certificado. Adicionalmente, cada pergunta do formulário e sua respectiva pontuação foram minuciosamente registradas, com diferentes cores e pesos por resposta.

A coleta dos dados do controle geral abrangeu os dados de endereço, maior quantidade de certificações de nível diamante em Porto Alegre, maiores e menores quantidades de pontuações obtidas por pergunta, levantamento das principais dimensões e temáticas atendidas.

2.2.1.2.2. Questões adicionais

Utilizou-se um extrato do banco de dados contendo as respostas às questões do formulário quantitativas. Os atributos analisados incluem, entre outros: número SEI, expediente, área privativa, empreendimento, endereço final, árvores existentes, espécies nativas implantadas, árvores nativas preservadas, parede verde, área de telhado verde, total de árvores nativas implantadas, total de árvores no empreendimento, potência instalada, vagas para bicicletas, vagas em bicicletário, vagas para veículos elétricos, lugares sustentáveis, volume reservado para água pluvial, águas cinzas e águas negras.

Foram coletados os tipos de dados e com qual tema eles estavam relacionados. Esses itens são essenciais para compreensão com o intuito de garantir uma estruturação adequada. A Figura 15 mostra uma entrada de dado adicional.

Figura 15- Dados adicionais do Formulário CS.

DIMENSÃO IV
Pontuação mínima: 10
Pontuação alcançada: 7

Energia e emissão de gases de efeito estufa (GEE) (19-22)

Iluminação artificial inteligente

19. EFICIÊNCIA DO SISTEMA DE ILUMINAÇÃO Utilizar iluminação em LED em 100% das áreas de uso comum*

Não (0 pontos) Sim (3 pontos)

20. DISPOSITIVOS DE CONTROLE Instalar sistemas de iluminação nas áreas comuns com distribuição em circuitos independentes e dispositivos economizadores, tais como sensores de presença e temporizadores*

Não (0 pontos) Sim (2 pontos)

21. ILUMINAÇÃO EXTERNA Iluminar áreas requeridas para segurança e conforto. Instalar apenas luminárias que possuem cut-off (não iluminar acima do plano horizontal evitando a poluição luminosa)*

Não (0 pontos) Sim (5 pontos)

Energia Renovável

22. GERAÇÃO LOCAL DE ENERGIA RENOVÁVEL Projetar sistema de geração de energia que atenda a pelo menos 5% do consumo total de energia do empreendimento*

Não (0 pontos) De 5% a 10% (5 pontos) De 11% a 20% (6 pontos) 21% ou mais (7 pontos)

Potência instalada *

53.626,82

22.1 Planilha de Demanda *

Adicione um arquivo .PDF

Fonte: Formulário de Certificação em Sustentabilidade Ambiental,2024.

2.2.1.2.3.Feedback dos usuários

A terceira maneira de obtenção de dados referente ao formulário de Certificação em Sustentabilidade Ambiental de Porto Alegre envolveu o uso de uma planilha de retorno enviada aos usuários após a análise das solicitações pela Diretoria de Projetos e Políticas de Sustentabilidade (DPPS). Esse retorno é fundamental para a compreensão dos motivos pelos quais certos itens das solicitações de certificação foram indeferidos. Ele fornece observações detalhadas sobre as deficiências encontradas e facilita o entendimento dos principais conceitos e dificuldades associadas ao preenchimento do formulário.

As informações contidas no retorno são valiosas para a identificação de áreas que precisam de ajustes e para a proposta de melhorias futuras no formulário de certificação. Dessa forma, busca-se tornar os dados mais utilizáveis e aprimorar a experiência dos usuários, contribuindo para um processo de certificação mais eficiente e transparente

Nesse sentido, esse levantamento foi crucial para compreender mais detalhadamente como os dados são analisados pela DPPS, desde a formatação até a visualização. Essa análise permite uma integração mais eficaz dos dados na (IDE), facilitando a avaliação sobre a necessidade e a utilidade dos dados coletados. O retorno obtido contribui para um retorno mais preciso, possibilitando ajustes necessários e garantindo que o processo de certificação atenda às expectativas e requisitos estabelecidos.

2.2.1.3. Visualização 3D

Este estudo está focado na análise do Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental, com o objetivo de entender e avaliar os mecanismos relacionados à visualização 3D no contexto do planejamento urbano e sustentabilidade. Para isso, foram coletados documentos cartográficos e dados espaciais relevantes. A camada "Edificação" foi um dos elementos centrais, pois já estava disponível e contém dados altimétricos das edificações de Porto Alegre, facilitando a criação de um ambiente tridimensional adequado para as análises.

Embora o levantamento aerofotogramétrico de 2009, que cobre uma área de aproximadamente 10x50 km e apresenta precisão de 10 cm na planimetria e 50 cm na altimetria, tenha sido considerado, a pesquisa optou por utilizar os dados disponíveis da camada de edificações. O levantamento aéreo de 2020, que ainda estava em fase de conclusão durante o período da pesquisa, não pôde ser integrado aos resultados.

Além da camada de edificações, foram coletadas outras camadas importantes para a análise urbana, principalmente as do Plano Diretor de Porto Alegre. Entre essas camadas estavam as de Macrozona, Unidade de Estruturação Urbana (UEU) e Quarteirão, que são fundamentais para delimitar zonas específicas do planejamento urbano e influenciam diretamente o desenvolvimento e a gestão do território municipal. Essas camadas, juntamente com os dados de logradouros e bairros do ObservaPoa,

fornece uma base sólida para a visualização geoespacial e para o desenvolvimento de modelos que auxiliem na tomada de decisões sobre o uso do solo e a sustentabilidade urbana. As regras que regem a altura das edificações são sempre limitadas pelo Índice de Aproveitamento e pela Zona de Restrição Aeroportuária. Não foram consideradas as áreas dos Programas de Reabilitação do Centro Histórico e de Regeneração Urbana do 4º Distrito, pois essas áreas não estão contempladas no Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental.

Embora a camada de paradas de ônibus tenha sido identificada como uma camada disponível, ela não foi utilizada na presente análise. Outros dados de infraestrutura, como vias e zonas de circulação, também foram considerados, pois são elementos que afetam diretamente o uso do solo e as condições de sustentabilidade dentro do ambiente urbano.

Outro dado relevante coletado foi o acesso ao sistema DMWeb, que oferece informações urbanísticas dos imóveis de Porto Alegre em formato bidimensional (2D), incluindo restrições administrativas e parâmetros urbanísticos. Este sistema desempenha um papel importante no processo de licenciamento, sendo utilizado, por exemplo, para consultar as exigências urbanísticas aplicáveis ao Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental.

A coleta de dados também incluiu entrevistas com equipes do Departamento de Planejamento e Projetos Sustentáveis (DPPS) e do Departamento de Planejamento Urbano (DPU). O objetivo dessas entrevistas foi identificar os mapas mais relevantes a curto prazo, de acordo com o Plano Diretor e o Formulário de Certificação em Sustentabilidade Ambiental. Aproximadamente 10 pessoas participaram dessa etapa, fornecendo observações cruciais sobre os dados e camadas que poderiam ser integrados em análises futuras, especialmente voltadas para a modelagem de dados e planejamento urbano sustentável.

Não foi possível obter um modelo BIM (Building Information Modeling) para a visualização das edificações, o que limitou a análise e a integração dos dados tridimensionais com a informação semântica disponível.

2.2.2. Estruturação e Modelagem Conceitual

Este capítulo trata da organização e modelagem dos dados armazenados para facilitar sua integração em uma Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE). Inicialmente,

destaca-se que os dados ainda não foram geocodificados, mas as coordenadas geográficas (latitude e longitude) já são extraídas e aplicadas em painéis de controle, sendo previstas para migração futura para um banco de dados SQL. Além disso, camadas como o Expediente Único são identificadas como potenciais para melhorar a estruturação dos dados. Esse processo é essencial para atender às necessidades de visualização e análise espacial voltadas ao planejamento urbano e sustentabilidade.

Foi realizada uma pesquisa direta com equipes técnicas para identificar as necessidades de visualização e estruturação de dados, com base nas diretrizes do plano diretor e nas informações do formulário de sustentabilidade, foi conduzido um levantamento por meio de pesquisa direta junto à equipe do Departamento de Planejamento e Projetos Sustentáveis (DPPS) e do Departamento de Planejamento Urbano (DPU), através de pesquisa feita com base nas sete estratégias delineadas no plano diretor e nos dados do formulário de sustentabilidade. Esse levantamento teve como objetivo compreender as necessidades de visualização e estruturação de dados relevantes para futuros mapas voltados para a equipe de sustentabilidade e planejamento urbano.

Primeiramente, é fundamental considerar o Plano Diretor do Município de Porto Alegre (PPDUA, 2010), que estabelece diretrizes para o desenvolvimento planejado da cidade, delineando as ações a serem tomadas pelo governo municipal para atender às suas necessidades. Ele visa promover uma cidade mais inclusiva e sustentável, por meio de instrumentos de planejamento urbano que reestruturem os espaços urbanos e melhorem a qualidade de vida da população. O Plano Diretor vigente é regido pela Lei Complementar 434/99, com alterações introduzidas pela Lei Complementar 646/2010. Conforme o Estatuto da Cidade, deve ser revisado a cada 10 anos, sendo que no momento desta dissertação, encontra-se em fase final de atualização. Conforme o PPDUA (2010), existem 7 (sete) estratégias, integradas e de forma sistêmica, que compõem a estruturação da cidade:

- I – Estratégia de Estruturação Urbana;
- II – Estratégia de Mobilidade Urbana;
- III – Estratégia de Uso do Solo Privado;
- IV – Estratégia de Qualificação Ambiental;

V – Estratégia de Promoção Econômica;

VI – Estratégia de Produção da Cidade;

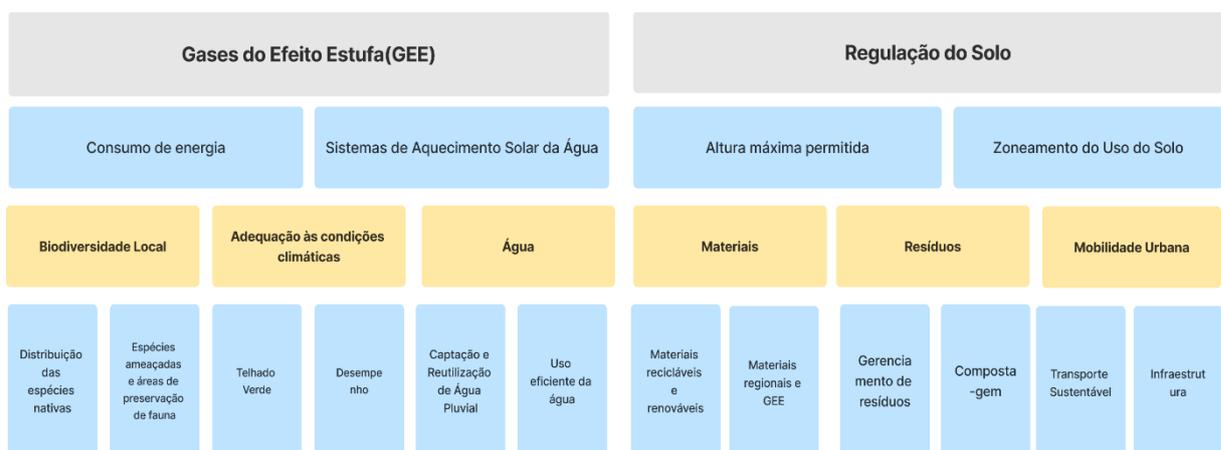
VII – Estratégia do Sistema de Planejamento.

Nesse contexto, foram consideradas as diretrizes do Plano Diretor de Porto Alegre e os itens referentes ao formulário como Edificação, Energia com Iluminação Eficiente e Uso de Energia Renovável, Uso Eficiente da Água, Captação de Água da Chuva, Cobertura Vegetal, Preservação da Fauna, Uso Eficiente da Água e Captação de Água da Chuva, Estratégias de Preservação, Transporte Coletivo, Infraestrutura para Bicicletas e Vagas para Veículos Elétricos. Ainda as questões com dados quantitativos, Árvores Nativas Preservadas, Área de Parede Verde, Área de Telhado Verde, Total de Árvores Nativas Implantadas, Total de Árvores no Empreendimento, Potência Instalada (possivelmente se refere a energia elétrica), Vagas para Bicicletas, Vagas em Bicicletários, Vagas para Veículos Elétricos, Lugares Sustentáveis, Volume Reservado para Água Pluvial, Águas Cinzas, Águas Negras, Água Pluvial.

O resumo do levantamento é mostrado na Figura 16 - Levantamento de mapas de interesse

.Figura 16 - Levantamento de mapas de interesse

Figura 16 - Levantamento de mapas de interesse



Fonte: A autora,2024.

Com isso destacam-se as 7 estratégias em mapas de interesse da SMAMUS somado a Regulação do Solo.

O mapeamento dos gases de efeito estufa (GEE) é uma prioridade global na busca pela redução das emissões de gases, refletindo-se também em programas de sustentabilidade urbana. Este mapeamento proporciona uma análise minuciosa das fontes de emissões, particularmente no contexto das edificações, onde a adoção de práticas energéticas sustentáveis, como a instalação de sistemas de energia renovável e iluminação eficiente, desempenha um papel fundamental. Utilizando dados georreferenciados das edificações e informações sobre consumo de energia que podem ser estimadas, é possível avaliar a capacidade instalada de energia renovável e a emissão de gases associada ao consumo energético. Além disso, esses dados fornecem embasamento para o planejamento e implementação de políticas públicas voltadas à mitigação das emissões e à promoção da resiliência climática, o que se alinha diretamente com os objetivos do Plano Diretor. Itens visíveis em um mapa de GEE incluem fontes de Emissões Industriais, permitindo a identificação de indústrias e processos com alto potencial de redução de emissões. O consumo de energia é analisado em edifícios residenciais, comerciais e industriais, visando à eficiência energética e à transição para fontes renováveis, enquanto a potência instalada de fontes de energia renovável e eficiência energética identifica áreas com maior potencial para redução das emissões.

É relevante salientar a regulação do solo, com ênfase nas Leis Complementares 606/2008 e 646/2010, as quais delineiam treze instrumentos urbanísticos no Artigo 49. Esse item é muito importante, tendo diversas iniciativas por parte da prefeitura para integração. Deve-se considerar a altura máxima permitida, para mostrar as restrições de altura dos edifícios em cada zona, conforme definido pelo Plano Diretor. Destaca-se, nesse sentido, o auxílio de cadastro das edificações em sustentabilidade para apresentar a volumetria e gabaritos máximos dos lotes das edificações, assim como as construções atuais, possibilitando comparações significativas. Pode ajudar, também, a controlar a densidade urbana e garantir uma distribuição equilibrada de espaços abertos e densidades construídas. Além disso, destaca-se o mapeamento com zoneamento de Uso do Solo para identificar e mapear as diferentes zonas de uso do solo estabelecidas pelo Plano Diretor, como zonas residenciais, comerciais, industriais, de preservação ambiental, entre outras. Isso ajudaria a visualizar como as áreas sustentáveis, como áreas verdes e espaços de conservação, estão distribuídas

pela cidade. Nesse sentido, poderá ser integrado com um mapa de solo criado, criado a partir do sistema da PROCEMPA.

Biodiversidade Local pode ser representada pela distribuição de espécies nativas implantadas e áreas de preservação de cobertura vegetal além da localização de espécies ameaçadas e áreas de preservação de fauna. Os dados utilizados incluem a quantidade de espécies nativas implantadas e preservadas, informações sobre áreas de preservação ambiental. Isso ajuda a identificar áreas prioritárias para conservação e restauração da biodiversidade. Também, corredores ecológicos e áreas verdes que conectam essas áreas, promovendo a conectividade entre habitats e fortalecendo a resiliência da biodiversidade urbana.

Adequação às condições climáticas com mapas de distribuição de edificações com telhados verdes e áreas de redução do efeito ilhas de calor, juntamente com os mapas de distribuição de edificações com desempenho envoltória e ventilação natural, desempenham papéis essenciais na promoção de ambientes urbanos mais sustentáveis e resilientes. Ao integrar esses dados na IDE, é possível fornecer uma visão abrangente das áreas da cidade que estão adotando práticas sustentáveis para mitigar os impactos das condições climáticas urbanas, como o efeito de ilhas de calor e a demanda por energia. Esses mapas não apenas destacam as áreas que estão investindo em soluções sustentáveis, como telhados verdes e edificações com desempenho envoltório, mas também fornecem informações valiosas para orientar políticas de planejamento urbano alinhadas com os objetivos do Plano Diretor. Ao promover o desenvolvimento de edificações mais eficientes e confortáveis, esses mapas contribuem para a criação de ambientes urbanos mais saudáveis, resilientes e adaptados às necessidades das comunidades locais.

A categoria "água" abrange a distribuição de edificações com sistemas de aproveitamento e controle de águas pluviais, bem como o uso eficiente da água. É importante destacar a presença desses sistemas de drenagem e como eles são utilizados nas edificações. A análise inclui dados sobre a localização das construções e informações sobre práticas sustentáveis relacionadas ao uso da água. Considera-se também dados de capacidade de armazenamento de águas pluviais e o volume de águas cinzas geradas, volume reservado para água pluvial e o gerenciamento de águas cinzas e negras, com as políticas do Plano Diretor relacionadas à gestão de recursos hídricos drenagem urbana. Os dados de edificações novas sobre água

pluvial e águas cinzas, juntamente com informações da companhia de água pluvial e características topográficas da cidade, ajudam a identificar áreas vulneráveis a inundações e a desenvolver estratégias para o uso eficiente e sustentável da água em escala urbana.

Na categoria de materiais, é evidente a importância de analisar tanto a distribuição de edificações que utilizam materiais sustentáveis quanto a localização das construções que empregam materiais regionais. Esses aspectos desempenham um papel crucial na promoção de ambientes urbanos mais sustentáveis e eficientes. Ao oferecer uma visão abrangente das áreas urbanas que adotam práticas responsáveis em relação ao uso de materiais recicláveis, rapidamente renováveis, regionais e outros materiais sustentáveis, é possível destacar as regiões que estão liderando essas iniciativas. Essa abordagem também proporciona uma análise detalhada dessas áreas na cidade, evidenciando aquelas que adotam estratégias sustentáveis na escolha de materiais de construção e nos locais de distribuição. Através da identificação e do mapeamento dessas regiões, é possível orientar políticas e incentivos que fomentem a adoção generalizada de práticas sustentáveis na construção civil, contribuindo, assim, para o desenvolvimento de cidades mais resilientes e ecologicamente equilibradas.

Resíduos destaca a distribuição de edificações com práticas sustentáveis de gestão de resíduos na IDE municipal é essencial para promover a sustentabilidade ambiental e a eficiência urbana. Com visão detalhada das áreas da cidade que estão adotando práticas responsáveis, como coleta seletiva e compostagem. Ao fornecer informações sobre as áreas que estão promovendo práticas sustentáveis em relação aos resíduos, ajuda a orientar políticas de planejamento urbano alinhadas com os objetivos do Plano Diretor. Isso contribui para a redução do impacto ambiental e para a criação de ambientes urbanos mais limpos e saudáveis, melhorando a qualidade de vida dos cidadãos. Ainda, o gerenciamento de resíduos sólidos é outro aspecto importante, com a taxa de reciclagem, volume desviado de aterros sanitários e implementação de programas de coleta seletiva contribuindo para a redução das emissões de GEE e para promoção de uma economia circular.

Mobilidade Urbana, o plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Porto Alegre destaca a importância do Cadastro da Mobilidade Urbana como uma das 7 estratégias do Plano. Por isso, compreender a distribuição de edificações com vagas para

veículos elétricos e bicicletários e a localização de edificações próximas a locais de transporte coletivo e espaços urbanos humanizados. Utiliza dados sobre a localização das edificações e informações sobre a infraestrutura urbana, integrando os dados sobre vagas para bicicletas, bicicletários, vagas para veículos elétricos, extensão da rede de transporte público e presença de ciclovias, com as políticas do Plano Diretor relacionadas ao transporte sustentável e à mobilidade urbana. Isso pode ajudar a identificar áreas onde são necessárias mais infraestruturas para ciclistas e veículos elétricos, alinhadas com as metas de redução de emissões de gases de efeito estufa e melhoria da qualidade do ar.

Com isso, foi conduzida uma análise dos itens do formulário de Certificação em Sustentabilidade Ambiental, com o objetivo de identificar de maneira detalhada todos os dados presentes nele de maneira integrada, tendo em vista que inicialmente foram abordadas de maneira distinta as questões adicionais. Nesse estágio, a intenção é apenas compreender os dados para obter uma visão geral do tipo de resposta e identificar aqueles que eram dispensáveis para os propósitos da modelagem. Posteriormente, será possível definir de maneira mais apropriada o tipo de dado a ser usado no diagrama de classes UML, a partir do JSON.

A fim de organizar esses dados de forma coesa e identificar suas interconexões, optou-se por empregar a técnica do mapa mental, permitindo a categorização e agrupamento dos itens conforme sua relevância e relações mútuas. Posteriormente, seguindo os padrões estabelecidos pelo *Open Geospatial Consortium* (OGC) foram desenvolvidos diagramas de classes UML, visando representar visualmente essas informações de maneira estruturada e intuitiva. A modelagem conceitual é orientada a objeto e o banco de dados é também orientado a objeto.

O LoD2 no CityGML corresponde a um estágio intermediário de detalhamento, caracterizado pela inclusão de geometria detalhada, texturas e informações semânticas básicas sobre os objetos urbanos. Este nível de detalhe é especialmente relevante para aplicações que exigem uma representação visual e analítica precisa do ambiente urbano, permitindo uma visualização mais realista e uma análise mais aprofundada das características físicas das edificações e dos espaços urbanos.

A escolha do LoD2 para integrar as classes sustentáveis aos modelos CityGML é justificada pelo equilíbrio entre complexidade e praticidade. LoDs mais detalhados, como LoD3 ou LoD4, podem fornecer informações mais precisas, mas exigem um

esforço significativo para a modelagem e são mais suscetíveis a inconsistências e erros devido à complexidade dos dados. Por outro lado, LoDs menos detalhados, como LoD1, podem não capturar adequadamente as características sustentáveis das edificações.

2.2.3. Visualização 3D

2.2.3.1. Definição da área para análise

Para obter uma visualização tridimensional mais precisa, foi realizado um levantamento a partir da planilha de controle geral para identificar o bairro com o maior número de certificações ambientais. No âmbito deste estudo, as certificações de bronze foram excluídas devido à sua limitação de altura, o que reduz o interesse em sua visualização. A análise revelou um total de 84 certificações distribuídas em 23 bairros e três tipos de certificados. Observou-se que o bairro Petrópolis, de acordo com a Figura 17, se destacou com 15 certificações, sendo o líder nesse aspecto. Destaca-se também a predominância do certificado diamante, que oferece os maiores benefícios de altura em comparação com os demais. O bairro Moinhos de Vento aparece em uma posição próxima nessa relação, enquanto vários outros bairros possuem apenas uma certificação cada, incluindo Higienópolis, Cidade Baixa, Passo d'Areia, Glória, Santa Cecília, Vila Assunção, Cristal, Cristo Redentor e Jardim Botânico.

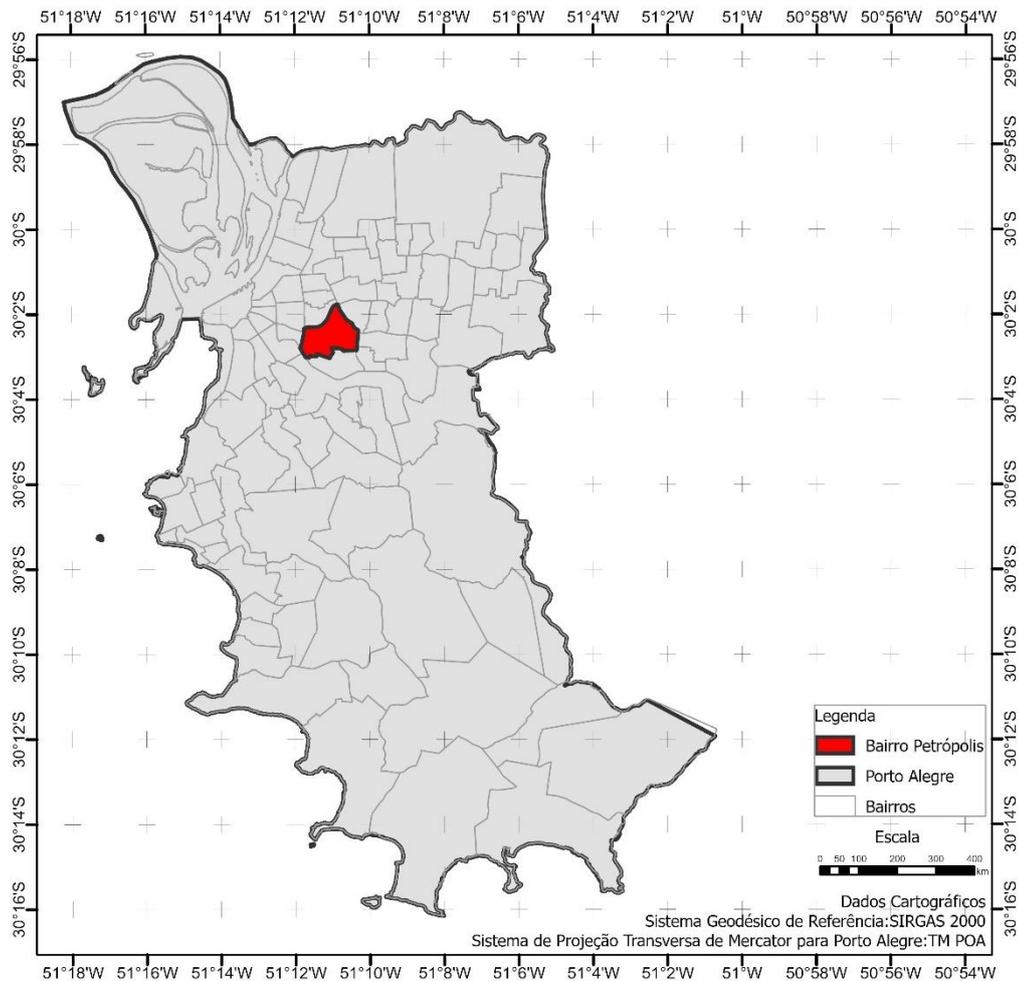
Figura 17 – Certificação por bairro



Fonte: A autora, 2024.

Assim, levando em conta essas informações, optou-se por selecionar o bairro Petrópolis como a área de visualização para realização dos testes. A Figura 18 fornece detalhes sobre essa área selecionada.

Figura 18 – Área de visualização



Fonte: A autora, 2024.

2.2.3.2. Camadas e sistemas

Após a coleta dos dados cartográficos e espaciais, a análise focou na integração e interpretação das informações para a visualização tridimensional das edificações e a avaliação de sua conformidade com o Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental. Utilizando a camada de Edificações, que já continha dados altimétricos precisos, foram combinadas essas informações com outras camadas do Plano Diretor, como Macrozona, Unidade de Estruturação Urbana (UEU) e Quarteirão. A análise procurou entender como as regras urbanísticas e de

planejamento, como o Índice de Aproveitamento e a Zona de Restrição Aeroportuária, impactam a modelagem 3D das edificações.

As regras que regem a altura das construções foram comparadas com os dados presentes na camada de Edificações para verificar a conformidade com as normas estabelecidas. Observou-se que as áreas dos Programas de Reabilitação do Centro Histórico e de Regeneração Urbana do 4º Distrito não estavam incluídas no Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental e, portanto, não foram consideradas nesta análise.

A análise também focou no modelo conceitual semântico de CityGML para a visualização tridimensional das edificações. Foram feitos ajustes nos dados para assegurar que a modelagem 3D refletisse com precisão as características e atributos das edificações, respeitando as normas urbanísticas. A visualização 3D ajudou a identificar áreas de conformidade e discrepâncias entre as alturas permitidas e as reais, facilitando a análise dos impactos urbanísticos e da sustentabilidade.

Embora a camada de paradas de ônibus não tenha sido utilizada, a análise das camadas de logradouros e bairros contribuiu para contextualizar a modelagem e verificar a integração dos dados espaciais com a certificação ambiental. As informações obtidas nas entrevistas com equipes do Departamento de Planejamento e Projetos Sustentáveis (DPPS) e do Departamento de Planejamento Urbano (DPU) foram incorporadas para ajustar a modelagem e aprimorar a visualização dos dados em 3D, alinhando os mapas e modelos com as necessidades do planejamento urbano sustentável.

A ausência de um modelo BIM limitou a capacidade de integração completa dos dados e a criação de uma visualização tridimensional mais detalhada e precisa. Isso evidenciou a necessidade de futuras melhorias na aquisição e no uso de modelos BIM para aprimorar as análises e a representação das edificações de novas edificações.

2.3. Resultados e discussão

2.3.1. Estruturação e Modelagem Conceitual

2.3.1.1. Modelo de dados da certificação

Na etapa inicial da pesquisa, os dados previamente definidos em 2.2.1 foram meticulosamente coletados e analisados, abrangendo informações da planilha de controle geral. Além disso, foram consideradas questões adicionais e feedback dos usuários para garantir uma compreensão abrangente dos diversos aspectos da sustentabilidade abordados. A fim de organizar esses dados de forma coesa e identificar suas interconexões, optou-se por empregar a técnica do mapa mental, permitindo a categorização e agrupamento dos itens conforme sua relevância e relações mútuas. Posteriormente, seguindo os padrões estabelecidos pelo *Open Geospatial Consortium* (OGC) foram desenvolvidos diagramas de classes UML, visando representar visualmente essas informações de maneira estruturada e intuitiva.

Assim, o diagrama de classes elaborado está diretamente associado à entidade principal "Edificação". Cada classe específica representa uma dimensão particular da sustentabilidade e inclui atributos e relacionamentos relevantes para análise e gestão desses aspectos, analisando-os de forma integral. O diagrama proporciona uma representação visual clara das interações entre as diferentes classes e como elas se relacionam com a entidade principal. Com base nessa estruturação, é possível ter uma visão geral dos atributos criados e/ou selecionados como relevantes após a análise dos dados estruturados, das respostas nos tópicos Sustentabilidade e Plano Diretor. A intenção foi, a partir dos mapas levantados, verificar os dados relevantes que podem ser observados no segundo nível de detalhamento de uma edificação e implementados para análise, permitindo integrar os dados relevantes do formulário e que futuramente poderão ser melhorados neste formulário como entrada de dados.

A classe de Conservação da Biodiversidade Local inclui a quantidade de árvores nativas implantadas, preservadas e existentes. A classe de Adequação às Condições Climáticas considera a área do telhado verde, parede verde, vidros e isolamento de fachada e cobertura. A Classe de Água abarca as águas cinzas, negras e pluvial, enquanto Energia e Emissão de Gases do Efeito Estufa compreendem a eficiência

energética e a potência instalada. A Classe de Resíduos engloba a coleta seletiva, compostagem e resíduos sólidos. Já a Classe de Materiais contempla materiais rapidamente renováveis, regionais e recicláveis, e a Classe de Acessibilidade, Mobilidade e Humanização das Edificações e dos Espaços Urbanos inclui vagas de bicicletário, vagas de veículos elétricos e quantidade de lugares sentáveis. Resumidamente elas foram dispostas da seguinte maneira:

- Classe de Conservação da Biodiversidade Local

totalArvoresNativasImplantadas: number

totalArvoresImplantadasExistentes01: number

totalArvoresNativasPreservadas: number

totalArvoresImplantadasExistentes02: number

totalEspeciesNativasImplantadas: number

totalArvoresImplantadasExistentes03: number

- Classe de Adequação às Condições Climáticas

areaTelhadoVerdeInstalado: area

areaParedeVerdeInstalada: area

isolamento-termico-cobertura: string

isolamento-termico-fachadas: string

vidros-alto-desempenho: string

- Classe de Água

volumeReservadoAguasCinza: area

volumeReservadoAguasNegras: area

volumeReservadoAguaPluvial: area

volumeReservadoAguaPluvial: area

- Classe de Energia e Emissão de Gases do Efeito Estufa

eficiencialuminacao: number

potencialInstalada: area

- Classe de Resíduos

coletaSeletiva: boolean

compostagem: boolean

residuosSolidos: boolean

- Classe de Materiais

materiaisRapidamenteRenovaveis: number

materiaisRegionais: number

materiaisReciclaveis: number

- Classe de Acessibilidade, Mobilidade e Humanização das Edificações e dos Espaços Urbanos

qtdVagasBicicletario: number

qtdVagasVeiculosEletricos: number

qtdLugaresSentaveis: number

A integração das classes mencionadas aos modelos CityGML em nível de detalhamento 2 (LoD2) representa um avanço significativo na modelagem e representação de características sustentáveis em ambientes urbanos tridimensionais. O CityGML, oferece diferentes níveis de detalhe para capturar a complexidade das edificações e do ambiente urbano.

O LoD2 foi escolhido como um compromisso ideal, pois oferece um nível adequado de detalhamento para representar efetivamente as características sustentáveis das edificações, sem sobrecarregar os modelos com excesso de informações. Isso permite uma integração eficiente das classes sustentáveis aos modelos CityGML, garantindo uma representação precisa e útil para uma variedade de aplicações urbanas sustentáveis.

No contexto dos dados de certificação em sustentabilidade ambiental, os dados relevantes obtidos através do programa de certificação são integrados ao modelo CityGML por meio do diagrama UML. O diagrama UML é projetado para representar as classes de forma organizada e associada às edificações, facilitando a compreensão da estrutura e dos atributos de cada componente sustentável no contexto urbano. Uma abordagem comum para essa associação é através da criação de uma classe "BuildingPart" que representa cada componente da edificação e que

possui atributos correspondentes aos dados sustentáveis relevantes. Isso permite uma implementação eficaz do programa de certificação, fornecendo uma representação clara e intuitiva das características sustentáveis das edificações no modelo CityGML

É essencial considerar a relação com o contexto do Building. Inicialmente, é necessário examinar as codelists do módulo Building do CityGML, estabelecendo uma conexão direta dos atributos, especialmente para classificar as edificações como comerciais ou residenciais. Além disso, é crucial atentar-se ao endereço, conforme mencionado no estudo de MAIERON (2021). Conforme mencionado no referencial teórico, a principal ferramenta utilizada na modelagem e integração dos dados é o FME. Essa escolha é justificada pelo fato de o FME suportar dados geoespaciais e oferecer uma variedade de funções conhecidas como transformadores, que permitem a manipulação dos dados de entrada de diversas maneiras. Adicionalmente, o FME é compatível com a linguagem Python. Os dados são carregados por meio de leitores específicos para cada formato de dado e, após a manipulação, são salvos em escritores, onde o formato de saída é definido. As implementações são realizadas em áreas de trabalho denominadas workspaces.

Como a intenção desta pesquisa é a metodologia de inserção dos dados de Certificação, entende-se que dentro do contexto da modelagem de dados, seguindo os padrões OGC para CityGML, o conceito de Building Part refere-se a partes específicas de uma edificação, como paredes, janelas, telhados ou pisos, cada qual possuindo atributos próprios que descrevem suas características geométricas, funcionais e semânticas. Essas partes desempenham um papel fundamental na representação detalhada de uma edificação em um modelo 3D, permitindo uma descrição completa e precisa de seus elementos constituintes. Essa abordagem permite uma modelagem mais granular e flexível, onde cada aspecto da edificação pode ser tratado separadamente e associado ao BuildingPart correspondente. Isso facilita a manipulação e a análise de dados específicos da edificação em relação ao contexto urbano mais amplo.

Por sua vez, ele define padrões temáticos que possibilitam a representação de informações específicas sobre diversos aspectos urbanos. Esses padrões temáticos compreendem conjuntos de classes e atributos que descrevem características particulares de temas dentro do contexto urbano, como vegetação, transporte,

edifícios históricos e drenagem. Em uma edificação, um padrão temático refere-se a um conjunto específico de classes e atributos que descrevem características relacionadas a um tema específico. Por exemplo, um padrão temático para energia em uma edificação pode incluir informações sobre eficiência energética, fontes de energia utilizadas e potência instalada.

Verificou-se que a relação entre Building Part e padrão temático é de dependência, visto que os padrões temáticos podem ser aplicados aos Building Parts para descrever aspectos específicos relacionados a um tema particular dentro de uma edificação. Por exemplo, um padrão temático de energia pode ser aplicado a uma parede específica de uma edificação para descrever sua eficiência energética e as fontes de energia utilizadas. Assim, os padrões temáticos complementam a descrição detalhada fornecida pelos Building Parts, permitindo uma análise mais abrangente e especializada do ambiente urbano.

Dada esta compreensão, a modelagem dos dados das edificações conforme a OGC CityGML foi realizada com base nas diretrizes e padrões estabelecidos pela organização, utilizando um diagrama UML para representar a estrutura e os elementos necessários. As classes relacionadas à conservação da biodiversidade local, adequação às condições climáticas, gestão de água, energia e emissão de gases do efeito estufa, gestão de resíduos, materiais de construção e acessibilidade urbana foram incluídas como parte do BuildingPart.

Exemplificando, para representar a Classe de Energia e Emissão de Gases do Efeito Estufa em uma edificação usando o padrão OGC CityGML, é necessário seguir uma abordagem estruturada. Primeiramente, o conceito de Building (Edificação) é utilizado para descrever a estrutura global da edificação, representando-a em sua totalidade. Dentro dessa edificação, são definidas as Building Parts (Partes da Edificação), que correspondem a elementos individuais como paredes, telhados e pisos.

No contexto da eficiência energética e emissão de gases do efeito estufa, criam-se Building Parts específicos para os sistemas de iluminação e energia dentro da edificação. Cada um desses Building Parts possui seus próprios atributos que descrevem características como eficiência da iluminação e potência instalada. Por exemplo, um Building Part pode conter atributos como "eficiênciailuminacao" e "potencialInstalada".

Para representar essas informações de forma mais detalhada e especializada, utilizam-se os padrões temáticos do OGC CityGML. Um padrão temático é um conjunto de classes e atributos que descrevem características específicas relacionadas a um tema particular dentro do contexto urbano. No caso da eficiência energética e emissão de gases do efeito estufa, cria-se um padrão temático específico para essa temática. Esse padrão temático contém as classes e atributos necessários para descrever detalhadamente os sistemas de iluminação e energia da edificação, incluindo informações como eficiência energética, fontes de energia utilizadas e potência instalada.

Cada *Building Part* relacionado à eficiência da iluminação e à potência instalada é representado por uma Construção (Construction) dentro do Building global da edificação. Essas Construções contêm informações detalhadas sobre a geometria e os atributos dos elementos correspondentes da edificação, permitindo uma descrição precisa e estruturada dos aspectos relacionados à energia e emissão de gases do efeito estufa.

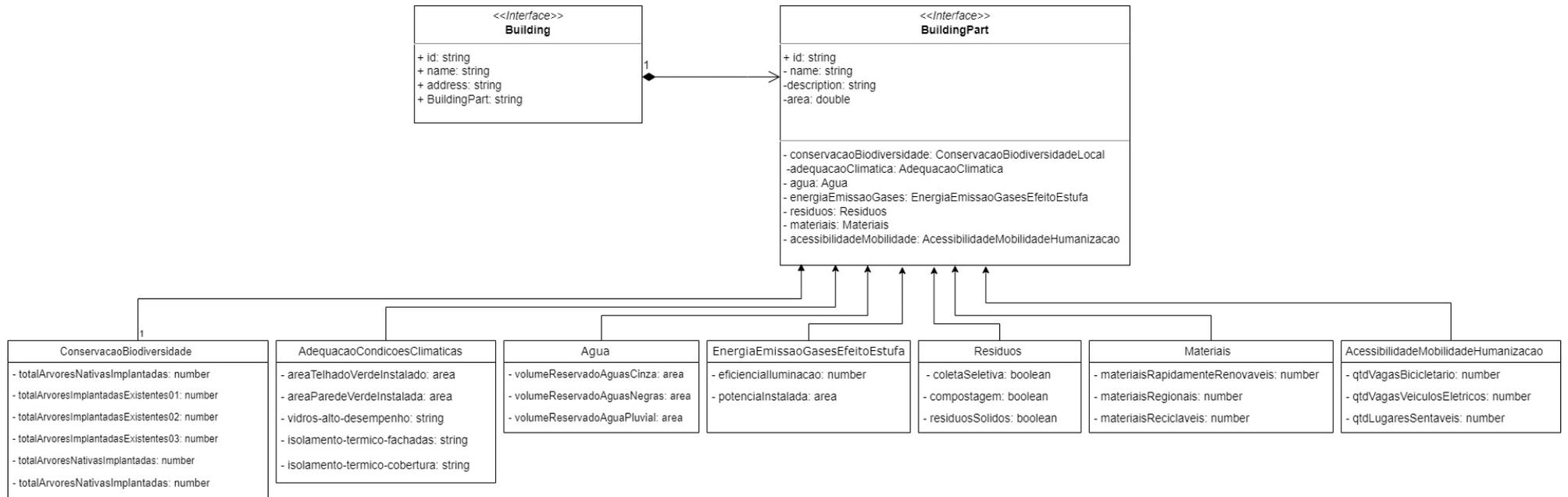
Dessa forma, a implementação da Classe de Energia e Emissão de Gases do Efeito Estufa usando o padrão OGC CityGML proporciona uma representação detalhada e especializada dos sistemas de iluminação e energia dentro de uma edificação, permitindo uma análise mais abrangente e precisa desses aspectos para diversos fins, como planejamento urbano, gestão ambiental e sustentabilidade.

No Modelo Conceitual CityGML 3.0, as representações geométricas foram transferidas para o módulo Core e agora estão ligadas aos conceitos semânticos de Espaços e Limites Espaciais. Isso simplificou os modelos dos módulos temáticos, pois todos os tipos de recursos agora são subclasses dessas classes, herdando automaticamente as geometrias

Essa abordagem assegura a consistência, qualidade e interoperabilidade dos dados, facilitando o compartilhamento e utilização das informações em diferentes sistemas e plataformas. Assim, contribui para uma gestão urbana mais eficiente, sustentável e integrada, promovendo o desenvolvimento de cidades mais resilientes e habitáveis.

A Figura 19 exemplifica o Diagrama UML, com XML no Apêndice A.

Figura 19 – Diagrama UML



Fonte: A autora, 2024.

2.3.2. Visualização 3D

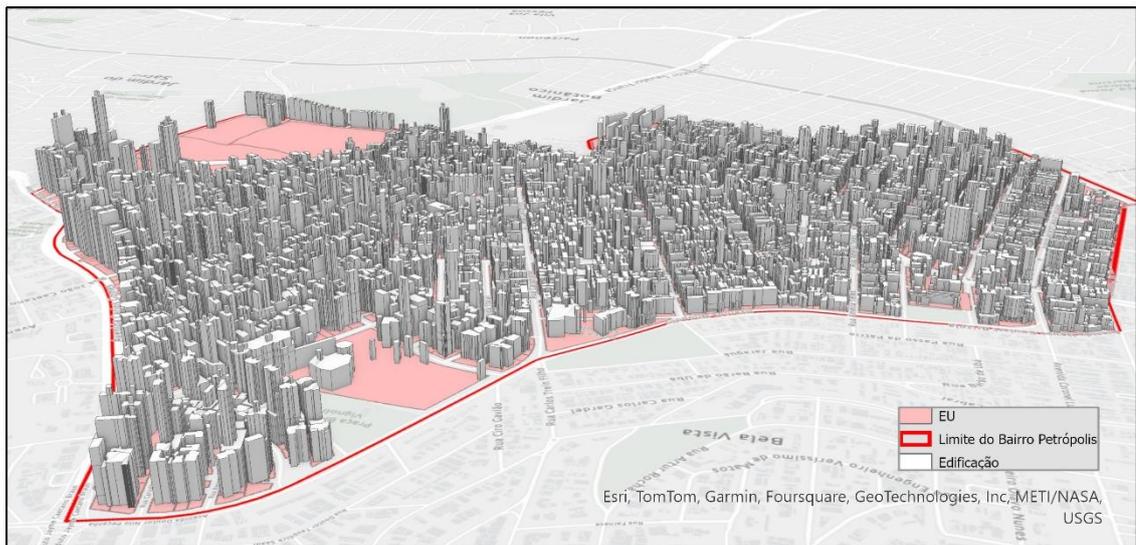
A visualização tridimensional (3D) foi construída utilizando a camada de "Edificação", previamente disponível na base de dados do município de Porto Alegre, a qual já incluía informações de altimetria. Essa camada foi escolhida devido ao foco deste trabalho estar voltado para a análise do modelo conceitual semântico do CityGML, e não para a geometria detalhada das edificações. Esta abordagem facilitou a integração rápida e eficiente dos dados espaciais na plataforma de visualização 3D, considerando que as informações sobre altura e volumetria das construções já estavam prontamente organizadas e disponíveis.

Durante a análise, foram consideradas ferramentas como o Cesium e o GeoNode para a visualização 3D baseada na web. O Cesium oferece uma plataforma robusta para a integração e visualização interativa de dados espaciais em 3D (Fonseca, 2022). No entanto, devido ao estágio de desenvolvimento da Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE) de Porto Alegre, o Cesium não pôde ser aplicado na prática. O GeoNode, que está sendo implementado como parte da IDE de Porto Alegre, também foi planejado como um visualizador 3D baseado na web. Contudo, a IDE ainda estava em desenvolvimento, impedindo a utilização do GeoNode nesta fase do estudo.

A área de estudo definida para esta análise foi o bairro Petrópolis, escolhido devido à sua destacada quantidade de certificados diamantes e à maior pontuação no Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental. Esta área foi selecionada para a visualização 3D conforme o plano de análise descrito no item 2.2.3.1. A visualização foi realizada utilizando o software ArcGIS Pro, com licença fornecida pela universidade.

Para esta visualização, a camada do Expediente Único, que fornece informações sobre os lotes onde as edificações estão ou serão inseridas, revelou-se essencial para o estudo, apesar de estar desatualizada desde 2012. Esta camada está diretamente vinculada ao formulário de Certificação em Sustentabilidade Ambiental e ao Escritório de Licenciamento, oferecendo percepções valiosas sobre a sustentabilidade urbana. A integração das camadas do Plano Diretor — incluindo Macrozona, Unidade de Estruturação Urbana (UEU) e Quarteirão — junto com dados de eixos, logradouros e bairros do Observatório POA, enriqueceu a visualização 3D, proporcionando uma representação mais abrangente e informativa do território. Portanto, a Figura 20 mostra a visualização 3D da área de análise.

Figura 20 – Visualização 3D



Fonte: A autora, 2024.

A análise revelou que a camada "Edificação" apresenta limitações significativas, especialmente em relação à precisão das alturas das edificações. Essas limitações comprometem tanto o uso futuro do geoportal 3D de Porto Alegre quanto a validação dos resultados obtidos. A falta de precisão na altura das edificações impede uma visualização coerente e funcional dos dados em 3D, prejudicando a integração com ferramentas de visualização tridimensional e limitando a eficácia da análise. A Figura 21 mostra um comparativo das diferenças de altura para as edificações na Rua Regente esquina com a Avenida Nilo Peçanha, no bairro Petrópolis, evidenciando a elevada diferença de altura, especialmente considerando a extrusão correta implementada no ArcGIS Pro. Além disso, é notável que a camada de Expediente Único não está coerente com o licenciamento urbano, já que não houve alterações desde 2010 nesta área.

Figura 21 – Comparativo de altura



Fonte: A autora, 2024.

O trabalho de Maieron (2021), que utilizou o modelo CityGML para a avaliação geométrica de cidades, incluindo Porto Alegre, fornece uma base valiosa e complementar para entender a importância da precisão geométrica na modelagem tridimensional, complementando o estudo semântico desenvolvido nessa pesquisa. A análise mostrou que, sem uma modelagem geométrica precisa, a visualização dos dados não atinge a qualidade necessária para uma integração efetiva no geoportal 3D.

Os resultados obtidos com a visualização 3D foram eficazes para a análise do Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental de Porto Alegre. A integração da camada de "Edificação" no modelo tridimensional permitiu avaliar aspectos essenciais relacionados às edificações certificadas, como conformidade com critérios ambientais e impacto visual. Ugeda (2023) destaca a importância de utilizar modelos tridimensionais para essas avaliações, possibilitando uma visão mais detalhada da realidade urbana e ajudando na tomada de decisões mais informadas.

Embora a camada utilizada tenha incluído informações de altimetria, a modelagem tridimensional enfrentou desafios em relação à representação geométrica precisa de algumas edificações. Isso evidenciou a necessidade de aprimoramento futuro para alcançar uma representação 3D mais fiel à realidade. A integração semântica dos dados com base no CityGML mostrou-se eficiente, permitindo a interoperabilidade entre diferentes sistemas e garantindo que os dados fossem

usados de maneira coesa e uniforme dentro da infraestrutura de dados espaciais da cidade (Santos, 2023).

Em resumo, a análise ressaltou a importância da precisão dos dados geométricos e das ferramentas de visualização para criar um geoportal 3D eficaz. Ajustes na camada de altura das edificações são essenciais para garantir a integridade dos dados e a eficácia da visualização tridimensional. Esses ajustes são cruciais para o desenvolvimento do geoportal 3D que apoiará um planejamento urbano mais eficiente e alinhado com os conceitos de cidades inteligentes. A integração da visualização 3D aos resultados desta dissertação representa um avanço significativo na compreensão do ambiente urbano de Porto Alegre, destacando a necessidade contínua de melhorias na precisão geométrica e na atualização dos dados.

Esses resultados validam a discussão teórica sobre a importância da visualização 3D no contexto de cidades inteligentes, confirmando que a modelagem tridimensional é uma ferramenta crucial para o monitoramento e avaliação de políticas públicas urbanas voltadas à sustentabilidade (Fonseca, 2022; Ugeda, 2023). A camada de "Edificação" forneceu uma base sólida para realizar essas análises e visualizar os resultados de forma clara e intuitiva, embora ajustes futuros na representação geométrica sejam necessários para aprimorar a precisão das visualizações.

3. CONCLUSÕES

A dissertação abordou a integração dos dados provenientes do Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental de Porto Alegre na Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE) do município. O objetivo geral foi aprimorar o planejamento urbano e fornecer suporte à visualização 3D, com o intuito de promover a ideia de cidades inteligentes. Este processo representa um avanço significativo na gestão urbana sustentável da cidade, ao incorporar dados relevantes de sustentabilidade ao ambiente de geoprocessamento municipal.

A utilização dos três tipos de coleta de dados—formulário de certificação, análise documental e dados para visualização—provou ser eficaz na construção de um banco de dados robusto e detalhado. Os dados coletados oferecem uma base sólida para a

análise e visualização das informações ambientais e urbanísticas, promovendo a tomada de decisões informadas e a adoção de práticas sustentáveis na cidade.

A proposta de integração dos dados do Programa de Certificação em Sustentabilidade Ambiental de Porto Alegre à IDE foi estruturada com base em padrões e requisitos específicos para garantir uma visualização tridimensional eficiente. Embora a integração final não tenha sido realizada pelo fato da IDE de Porto Alegre está em processo de elaboração, a modelagem dos dados seguiu o padrão OGC CityGML, validado como o mais relevante para este estudo. O Modelo Conceitual CityGML 3.0, com foco no segundo nível de detalhamento (LoD2), foi proposto para representar os principais elementos das edificações, considerando conceitos semânticos de espaços e limites espaciais, o que reforça a viabilidade técnica da proposta dentro do contexto de cidades inteligentes.

Os mecanismos de visualização 3D dos dados integrados à IDE foram parcialmente desenvolvidos nesta dissertação, revelando o potencial dessa tecnologia para promover cidades inteligentes em Porto Alegre. A análise demonstrou a viabilidade de adotar tecnologias a serem implementadas na IDE, como GeoNode e Cesium, permitindo uma visualização mais detalhada e acessível dos dados urbanos. No entanto, a falta de camadas essenciais e a necessidade de reavaliação da camada de edificações 3D limitaram a visualização geométrica, essencial para validar aspectos como a altura das construções, que é fundamental para a melhor visualização da estruturação semântica proposta e para contribuir com a análise e validação dos requerimentos do programa de certificação em sustentabilidade ambiental.

Apesar dos avanços, o estudo enfrentou algumas limitações importantes. A ausência de uma IDE totalmente concluída em Porto Alegre impediu a validação prática da modelagem proposta e a plena integração dos dados, uma vez que a infraestrutura ainda está em desenvolvimento. A integração de dados espaciais, especialmente para cidades inteligentes, mostrou-se essencial para melhorar a visualização e o uso das informações. A falta de uma camada essencial, especificamente a camada de altura das edificações, limitou a visualização precisa dos dados e a realização de análises geométricas detalhadas.

Uma solução viável seria reavaliar a camada de altura das edificações, integrá-la aos dados modelados e usar o ArcGIS Pro para visualização imediata. Em seguida,

a integração ao GeoNode com Cesium 3D, dadas as definições já em desenvolvimento destacada em legislação, permitirá uma análise mais completa e robusta. A necessidade de revisão da geometria, conforme os padrões do OGC CityGML, pode ser abordada com base no estudo de Maieron (2021). Com a conclusão da IDE, será possível aprimorar significativamente a qualidade da visualização 3D, facilitando o planejamento urbano e os processos de licenciamento, e promovendo práticas urbanas mais sustentáveis e inovadoras. Assim, a metodologia empregada estabelece uma base sólida para futuras análises e para o desenvolvimento de uma infraestrutura robusta e eficiente para Porto Alegre. Olhando para o futuro, é crucial considerar a continuidade desses esforços. A expansão do uso de tecnologias oferece novas oportunidades para aprimorar ainda mais a gestão urbana sustentável. Além disso, a colaboração entre diferentes partes interessadas e uma governança sólida serão essenciais para garantir o uso responsável e transparente das informações coletadas, sempre visando ao benefício coletivo da comunidade.

Recomenda-se explorar outras fontes de dados, como modelos BIM e APIs de informações energéticas. Uma alternativa viável seria integrar diretamente o modelo BIM no sistema, considerando suas capacidades e requisitos como parte da definição do geoportal. Isso garantiria que o sistema seja projetado para acomodar esse tipo de arquivo e suas funcionalidades, mesmo que a prefeitura o utilize apenas para análises de edificações públicas. Embora não tenha sido incluída na versão final, uma análise do formato de dados IFC e da inclusão do modelo BIM foi conduzida pela autora. É notável que ainda são escassos os exemplos de projetos nesse formato para a área de estudo em questão. Além disso, deve-se considerar a integração de APIs de eficiência energética para a avaliação dos gases do efeito estufa. Essa inclusão poderia fortalecer o processo, resultando em benefícios significativos, como a redução do trabalho por parte da equipe de sustentabilidade e a provisão de insights valiosos, especialmente em relação à eficiência energética. Nesse contexto, seria possível realizar análises e cálculos por meio do Programa Brasileiro GHG Protocol para estimativas de emissões de gases do efeito estufa (GEE), fornecendo suporte para empresas de gestão de energia, principalmente aquelas envolvidas com fontes de energia renovável.

Ao investir em tecnologias e estratégias que aproveitem eficientemente os dados para o benefício da comunidade e do meio ambiente, está-se construindo um futuro mais resiliente, inclusivo e ambientalmente responsável para todos os habitantes da cidade.

FINANCIAMENTO

Em apoio ao desenvolvimento desse trabalho de pesquisa na cidade de Porto Alegre, a Universidade Federal do Rio Grande do Sul, através da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, a CAPES, vinculada ao Ministério da Educação (MEC), destinou-me o benefício da bolsa de pesquisa - Mestrado, referente ao número do processo 131572/2021-0, durante o período 01/08/2021 a 31/07/2023.

O auxílio recebido viabiliza a dedicação integral a esse projeto de pesquisa, a aquisição de livros, equipamentos de informática e inscrições em eventos acadêmicos. A autora utilizou o benefício especialmente para adquirir equipamento de informática adequado para a execução das análises tridimensionais.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15965: informação e documentação: sumário: apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ARAGÃO, José Wellington Marinho de. Metodologia Científica. Salvador: UFBA, Faculdade de Educação, Superintendência de Educação a Distância, 2017. 51 p.: il. E-book.

AZEVEDO, Tânia Cristina; PORTELLA, André Alves. Programa de certificação sustentável do município de Salvador: análise dos critérios e benefícios do " IPTU verde" em sua perspectiva ecológica. Revista de Direito da Cidade, v. 12, n. 3, p. 1611-1640, 2020.

BORGES, K. A. de V.; REZENDE L. E N. (2018). Infraestrutura de Dados Espaciais Municipal Prefeitura De Belo Horizonte. 1º Simpósio Brasileiro de Infraestrutura de Dados Espaciais.

BIM FÓRUM BRASIL (BFB). Building Smart. Disponível em: <https://www.bimforum.org.br/buildingsmart>. Acesso em: 07 set. 2022.

BUILDING SMART INTERNATIONAL. Sobre Building Smart. Disponível em: <https://www.buildingsmart.org/about/>. Acesso em: 07 set. 2022.

BRASIL. Decreto Lei nº 9.983 de 22 de agosto de 2019. Dispõe sobre a Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling e institui o Comitê Gestor da Estratégia do Building Information Modelling. 2019. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2019/Decreto/D9983.htm. Acesso em: 10 jun 2022.

BRASIL. Decreto n.º 6.666 de 27 de novembro de 2008 Institui, no âmbito do Poder Executivo federal, a Infra-Estrutura Nacional de Dados Espaciais – INDE. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2008/Decreto/D6666.htm. Acesso em: 10 jun 2022.

BRASIL. Decreto Lei nº 10.306 de 02 de abril de 2020. Dispõe a utilização do Building Information Modelling na execução direta ou indireta de obras e serviços de engenharia, realizada pelos órgãos e pelas entidades da administração pública federal, no âmbito da Estratégia Nacional de Disseminação do Building Information Modelling - Estratégia BIM BR. 2019. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Decreto/D10306.htm. Acesso em: 10 jun 2022.

BRASIL. Decreto nº 56.311, de 12 de janeiro de 2022. Estabelece a Estratégia BIMGov RS - com vista à implantação e ao fomento do Building Information Modeling - BIM no Estado. Disponível em: <https://leisestaduais.com.br/rs/decreto-n-56311-2022-rio-grande-do-sul-institui-a-estrategia-estadual-de-fomento-e-implantacao-do-building-information-modeling-bim>. Acesso em: 10 jun 2022.

BRILIANTO, Dony Erwan; SANCOKO, Albertus Yogo Dwi; RAMADHANI, Sheilla Ayu. Web Geoportal 'BHUMI' for Easy Access to Land Information and Community Participation-Based Mapping. 2023

CARVALHO, Michele Tereza Marques et al.. BIM e sua utilização com a lot e o GIS como uma ferramenta para implantação e gerenciamento de smart cities. Encontro nacional de tecnologia no ambiente construído, p. 1-8, 2020

CESIUM: Site oficial da Cesium. Disponível em: <https://cesium.com/>. Acesso em: 10 fev 2024

CHOGNARD, Sébastien et al.. Digital construction permit: A round trip between GIS and IFC. In: Workshop of the European Group for Intelligent Computing in Engineering. Springer, Cham, 2018. p. 287-306.

COELHO, Beatriz (2017). Análise de Dados. Disponível em: <https://blog.mettzer.com/analise-de-dados/>. Acesso em: 10 jun 2022.

CONCAR. Especificações Técnicas para a Estruturação de Dados Geoespaciais Vetoriais - ET-EDGV v. 2.1.3. Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR). 246p. 2010. Disponível em: http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/ET_EDGV_Vs_2_1_3.pdf. Acesso: 02 de fevereiro de 2021

CONCAR – COMISSÃO NACIONAL DE CARTOGRAFIA. Plano de Ação para Implantação da INDE: Infraestrutura de Dados Espaciais. Brasília: Ministério do Planejamento, 2010. 203p.

CONCAR. Perfil de Metadados Geoespaciais do Brasil (Perfil MGB), 2ª edição, 2011. <Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv83691.pdf>> Acesso: 02 de fevereiro de 2021

CONGIU, Eleonora et al. Web-Based Management of Public Buildings: A Workflow Based on Integration of BIM and IoT Sensors with a Web-GIS Portal. Buildings, v. 13, n. 5, p. 1327, 2023.

DERITTI, Marco Deouro; FREIRE, Fábio. O surgimento do conceito CIM através da interoperabilidade entre BIM e GIS e sua importância para as SMARTS CITIES. Revista Técnico-Científica, n. 13, 2018.

DE JESUS PROCÓPIO et al. GEOANALYTICS APLICADO AO CONCEITO DE CIDADES INTELIGENTES. Revista de Inovação e Tecnologia-RIT, v. 13, n. 1, p. 109-117, 2023.

DE PAIVA, Ana Izabel Silva; ANDRADE, Germana de Lima Girão. O papel das certificações ambientais na promoção da sustentabilidade dentro da arquitetura e urbanismo das cidades. Revista Diálogos Acadêmicos, v. 12, 2023.

DIAKITE, Abdoulaye A.; ZLATANOVA, Sisi. Automatic geo-referencing of BIM in GIS environments using building footprints. Computers, Environment and Urban Systems, v. 80, p. 101453, 2020.

DA CONCEIÇÃO SILVA, Mirelle Meireles et al. MODELAGEM CONCEITUAL PARA ESTRUTURAÇÃO DA BASE CARTOGRÁFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO-UFRRJ, CAMPUS SEROPÉDICA. In: COBRAC 2020. 2020.

DA FONSECA, Isabel Celeste Monteiro. As cidades inteligentes (em Portugal):(cada vez mais) entre a Cidade de Deus ea dos homens. In: Cidades inteligentes e direito, governação digital e direitos: estudos. Almedina (Coimbra), 2023. p. 13-40.

DE JESUS PROCÓPIO, João Victor; LOPES, Lincon; FEITOSA, Wilian Ramalho. GEOANALYTICS APLICADO AO CONCEITO DE CIDADES INTELIGENTES. Revista de Inovação e Tecnologia-RIT, v. 13, n. 1, p. 109-117, 2023.

DOS SANTOS CRUZ, Letícia Feliciano; ANDRADE, Diogo de Calasans Melo; BARRETO, Victória Rodrigues. CIDADES INTELIGENTES E PLANEJAMENTO URBANO ESTRATÉGICO: PLANO DIRETOR, UMA PRÁTICA INCLUSIVA?. Revista de Direito Urbanístico, Cidade e Alteridade, v. 8, n. 2, 2022.

DORNELLES, M. A.; IESCHECK, A.(2013) L. Análise da Aplicabilidade da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE) para Dados Vetoriais em Escalas Grandes. Boletim de Ciências Geodésicas, vol. 19, n. 4, p. 667- 686, 2013

ESRI. Esri Training. MOOC Transform AEC Projects with GIS and BIM. Disponível em: <https://www.esri.com/training/>. Acesso em: 20 set 2022.

EXÉRCITO BRASILEIRO, Manual Técnico T 34-700 Convenções Cartográficas (1ª parte) Normas para o Emprego dos Símbolos, 2ª edição, 1998. Disponível em: http://www.geoportal.eb.mil.br/images/PDF/T_34700_P1.pdf

FELINI, M. G., & Martinuci, O. da S. (2021). Disponibilização de dados cartográficos através de geoportais nos municípios do Paraná / Availability of cartographic data

through geoportals in the municipalities of Paraná. *Brazilian Journal of Development*, 7(2), 14355–14367. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n2-181>

FRANKE, F. D.; BIAS, E. DE S. O uso, o compartilhamento e a disseminação da geoinformação na administração pública brasileira: uma análise dos recentes avanços. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 68, n. 3, 27 abr. 2016.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. (2009). “Métodos de pesquisa”. Editora da UFRGS. Porto Alegre: 120p.

GOIÂNIA Prefeitura de Goiânia. Selo de Sustentabilidade de Goiânia. Disponível em: <https://www.goiania.go.gov.br/amma/selo-de-sustentabilidade-de-goiania/>.

GHG Protocol: GHG Protocol. Fundação Getúlio Vargas. Disponível em: <https://eaesp.fgv.br/>. Acesso em :02 de fevereiro de 2024

IBGE (2019) Instituto Brasileiro De Geografia E Estatística. Disponível em: < https://www.inde.gov.br/pdf/capacitacao/INDE--unidade01_IDEs_v07.pdf>

INDE (2021) Infraestrutura Nacional de Dados Geoespaciais. Disponível em:< <https://www.inde.gov.br/>>

IESCHECK, A. L.; PAOLAZZI, C.; SLUTER, C. R.; CAMBOIM, S. P. (2016). Metodologia para geração de bases de dados geoespaciais em consonância com a infraestrutura nacional de dados espaciais (INDE) e com os padrões de interoperabilidade do governo eletrônico (e-PING). *Revista Brasileira de Cartografia*, 68.

ISO 19115: International Organization for Standardization. ISO 19115-1:2014 - Geographic information -- Metadata -- Part 1: Fundamentals. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/53798.html>. Acesso em :02 de fevereiro de 2024

JÚNIOR, Luiz Antonio Felix et al. Cidades inteligentes: mapeando pesquisas, projetos, iniciativas e grupos nas capitais brasileiras. *Revista Tecnologia e Sociedade*, v. 19, n. 55, p. 149-175, 2023.

MACHADO, A. A.; CAMBOIM, S. P. (2016) Diagnóstico da perspectiva do usuário na criação de infraestruturas de dados espaciais subnacionais: estudo de caso para a Região Metropolitana de Curitiba. *Revista Brasileira de Cartografia*. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto, n. 68, v. 8, p. 1633-1651, set./out. 2016.

MAIERON, MCDONNELL ARAÚJO Integração de dados abertos na geração de modelos 3D baseados em CityGML / Mcdonnell Araújo Maieron. – Porto Alegre: PPGC da UFRGS, 2021.

NASCIMENTO, Daniel Luiz de Mattos. Normatização BIM. *Certi insights*, 2021. Disponível em: <https://certi.org.br/blog/normatizacao-bim/>. Acesso em: 10 jun. 2022.

NATIONAL INSTITUTE OF BUILDING SCIENCES (United States of America) (Org.). National Building Information Modeling Standard: Version 1-part 1 Overview, Principles, and Methodologies. [s.i.]: National Institute of Building Sciences, 2007. Disponível em: <https://www.nationalbimstandard.org/> . Acesso em: 13 ago 2022.

NOBREGA, Bruno Gonzalez et al.. Perspectives of Integration BIM And GIS In Brazilian Transport Infrastructure Under The Vision Of The Agents Involved, 2022.

NOARDO, Francesca et al.. Tools for BIM-GIS integration (IFC georeferencing and conversions): Results from the GeoBIM benchmark 2019. ISPRS International Journal of Geo-Information, v. 9, n. 9, p. 502, 2020.

NOARDO, Francesca. et al.. GeoBIM for digital building permit process: learning from a case study in Rotterdam. ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, v. 6, n. 4/W1, 2020.

NOARDO, Francesca et al.. Opportunities and challenges for GeoBIM in Europe: developing a building permits use-case to raise awareness and examine technical interoperability challenges. Journal of Spatial Science, v. 66, n. 2, p. 299-318, 2021.

NOARDO, Francesca et al.. Towards a digital twin of cities: interplay between geo-information and BIM. ISPRS International Journal of Geo-Information, v. 10, n. 3, p. 129, 2021.

NOARDO, Francesca et al.. Application of Linked Building Data (LBD) to streamline energy efficiency compliance checking in the Netherlands. ISPRS International Journal of Geo-Information, v. 11, n. 1, p. 44, 2022.

NOARDO, Francesca et al.. BIM-GIS Integration: Benefits, Challenges, and Use Cases. Sensors, v. 22, n. 12, p. 6730, 2022.

NOARDO, Francesca et al.. Geographical Information Systems and Building Information Modelling Integration: Research Frontiers and Opportunities. ISPRS International Journal of Geo-Information, v. 10, n. 9, p. 533, 2021.

NOARDO, Francesca et al.. IFC Georeferencing for BIM-GIS Integration: An Overview of Concepts, Tools, and Use Cases. Sensors, v. 22, n. 21, p. 11684, 2022.

NOARDO, Francesca et al.. Project IFC Georeferencing: Results from the GeoBIM benchmark 2018. ISPRS International Journal of Geo-Information, v. 8, n. 9, p. 394, 2019.

NOARDO, Francesca et al.. Requirements for BIM-GIS integration from a transport infrastructure perspective: lessons learned from literature and industry. ISPRS International Journal of Geo-Information, v. 9, n. 10, p. 620, 2020.

NOARDO, Francesca et al.. Smart Building Permit Process: A Conceptual Framework for Integration of GeoBIM and IoT. ISPRS International Journal of Geo-Information, v. 10, n. 12, p. 875, 2021.

NOARDO, Francesca et al.. Supporting BIM-GIS Integration with Linked Building Data: A Study Based on a Case Study in the Netherlands. ISPRS International Journal of Geo-Information, v. 10, n. 10, p. 599, 2021.

NOARDO, Francesca et al.. The Role of Linked Building Data in Geospatially-Enabled Digital Twin Platforms. ISPRS International Journal of Geo-Information, v. 11, n. 2, p. 93, 2022.

NUNES, José Miguel Baptista; GUIMARÃES, Vitor. GIS to BIM Interoperability: A practical approach. ISPRS International Journal of Geo-Information, v. 10, n. 5, p. 316, 2021.

OGC: Open Geospatial Consortium. Disponível em: <https://docs.ogc.org/guides/20-066.html>. Acesso em :02 de fevereiro de 2024

OLIVEIRA, Pedro Nacib; FERNANDES, M. E. B.; SARAIVA, M. A. B. (2022). Processo de autorização de projetos e regularização de obras no Brasil: uma proposta de integração GeoBIM e tecnologias da web semântica. ISPRS International Journal of Geo-Information, v. 11, n. 5, p. 285.

OLIVEIRA, Yuri da Silva; OLIVEIRA, José Marcos; PEREIRA, Márcio Lopes. Levantamento, análise e sistematização de atributos urbanos para compor um banco de dados de modelos BIM-GIS. Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, v. 26, n. 44, p. 212-225, 2019.

OLIVEIRA, Yuri da Silva; PEREIRA, Márcio Lopes; OLIVEIRA, José Marcos. Uso do BIM-GIS para integração de informações de transportes em cidades inteligentes. Cadernos de Arquitetura e Urbanismo, v. 25, n. 44, p. 259-270, 2019.

PORTUGAL, F. J. O uso de tecnologias BIM e SIG na criação de cidades inteligentes: o estado da arte. In: ARS. 2015. p. 39-50.

PREFEITURA DE PORTO ALEGRE. Premiação e Certificação em Sustentabilidade Ambiental. Disponível em: <https://prefeitura.poa.br/carta-de-servicos/premiacao-e-certificacao-em-sustentabilidade-ambiental>. Acesso em :02 de fevereiro de 2024

PROCEMPA DMWEB: DMWeb - Document Management System. Disponível em: <https://dmweb.procempa.com.br/dmweb/>. Acesso em :02 de fevereiro de 2024

PPDDUA. Plano diretor de desenvolvimento Urbano Ambiental. Porto Alegre,2010.

RAMON-LACA, Laura et al. BIM and GIS for urban planning and heritage management. A systematic literature review. ISPRS International Journal of Geo-Information, v. 10, n. 11, p. 771, 2021.

REZENDE L. E N.; BORGES, K. A. de V.(2018) Infraestrutura de Dados Espaciais Municipal da Prefeitura de Belo Horizonte/MG: o uso de geotecnologias como referência para construção de uma IDE Ambiental. Anais 7º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Jardim, MS, 20 a 24 de outubro 2018 Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 750-759

RIBEIRO, L. M.; GOMES, M. B.; CASTRO, L. F. de (2020). IFC georeferencing: Uma abordagem para integração de modelos BIM e SIG. Anais do XV Simpósio Brasileiro de Geoinformática, p. 1638-1646.

RIBEIRO, L. M. (2018). Integração de modelos IFC em um SIG: Uma abordagem para obtenção de metadados geográficos de edificações. Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Geoinformática, p. 839-848.

RIBEIRO, Murilo Borges. Uma plataforma para integração de dados para cidades inteligentes. 2023. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

RUIZ, Pedro da Silva et al.. Estudo de interoperabilidade entre SIG e BIM: estudo de caso da interface ArcGIS Pro e Revit. REVISTA GEOMATICS, v. 10, n. 3, 2022.

SÁ, Ana Elisa Silva et al.. Utilização de ferramentas BIM e GIS no contexto da acessibilidade e mobilidade urbana: estudo de caso do sistema metroviário de Salvador-Ba. Urban, v. 11, n. 18, p. 28-48, 2019.

SALGADO, Valéria Góes Ferreira. (2012). Gestão urbana e tecnologia BIM: uma proposta metodológica para aplicação do BIM em operações urbanas. Revista Contemporânea de Contabilidade, v. 9, n. 18.

SALGADO, Valéria Góes Ferreira. (2017). A cidade do Rio de Janeiro e o desafio da infraestrutura verde para os megaeventos: proposta metodológica para análise do planejamento urbano utilizando BIM e SIG. Rio de Janeiro: UFRJ, 2017. 298 p.

SALGADO, Valéria Góes Ferreira. (2021). Infraestrutura verde urbana e tecnologia BIM: Proposta metodológica para a gestão ambiental em bacias hidrográficas urbanas. Revista Brasileira de Gestão Urbana (RBGURB), Curitiba, v. 13, n. 2, p. 366–382, 2021.

SALVADOR (Município). Secretaria Municipal de Mobilidade (SEMOB). Programa de Mobilidade Urbana – PROMOB Salvador: Relatório de Atividades 2018. Salvador, 2018.

Santos, R. L., Figueredo, S. A., da Purificação, D., Rodrigues, K. C. R. M. C., Feitosa, C. C. D., & de Carvalho, D. E. B. O USO DAS REPRESENTAÇÕES URBANAS EM MODELOS 3D: UMA CONTRIBUIÇÃO ÀS CIDADES INTELIGENTES. Congresso Brasileiro Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.2023.SARAIVA, F. F. S. Geotecnologias aplicadas na gestão de recursos hídricos urbanos: Uma proposta de

abordagem utilizando SIG e técnicas de sensoriamento remoto. Tese de doutorado. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017. 142 f.

SILVA, Gileno Lima da; NEVES, Pedro Abreu de Medeiros. Diagnóstico da gestão das informações urbanas: uma análise da produção do cadastro técnico multifinalitário em municípios da Região Metropolitana do Recife, Brasil. *Cadernos MetrÓpole*, v. 23, n. 51, p. 535-563, 2021.

SILVA, Pedro Paulo Ferreira; MEDEIROS, Ismael Santos. (2018). Projeto BIM e Geo-BIM: uma ferramenta de suporte à gestão de áreas de risco. In: *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 10, n. 1, p. 43-53.

SIG3D Modeling Guide for 3D Objects - Part 2: SIG3D. 2013.

SNCI, S. N. C. I.. Modelagem de Solos no SNCI. Ministério das Comunicações, 2021.

SANTHANAVANICH, Thunyathep et al. Enabling Interoperability of Urban Building Energy Data Based on OGC API Standards and Citygml 3D City Models. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, v. 10, p. 97-105, 2023.

SOARES, Cinthia Gonçalves; AQUINO, Lorena Sousa Bezerra; NUNES, Taciana Pita. AS CIDADES INTELIGENTES (SMART CITIES) À LUZ DA LEI GERAL DE PROTEÇÃO DE DADOS. *Facit Business and Technology Journal*, v. 2, n. 47, 2023.

SMPAE. Prefeitura de Porto Alegre. SMPAE. Disponível em: <https://prefeitura.poa.br/smpae>. Acesso em :02 de fevereiro de 2024

TIBAU, Ricardo Hécio Bezerra et al.. Inovações no Planejamento Urbano Brasileiro: Proposta de Integração do Planejamento Territorial com o BIM e o SIG. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 73, n. 2, p. 315-331, 2021.

UFF. SIGUFF - SIG da Universidade Federal Fluminense. Disponível em: <https://www.sig.uff.br/siguff/>. Acesso em: 02 jun 2022.

UGEDA, Luiz. Por detrás das cidades inteligentes: a governação territorial da georreferenciação em Portugal. In: *Cidades inteligentes e direito, governação digital e direitos: estudos*. Almedina (Coimbra), 2023. p. 171-180.

VALE, F.; FRANCA, G. M. (2022). Rede Metropolitana de Transporte Coletivo no Brasil: mapeamento e análise comparativa entre 2014 e 2021. *Revista de Gestão e Projetos*, 2022.

VIEIRA, Maria Alice Silva Brandão et al.. A cidade do futuro: Estudo de caso da implantação da metodologia BIM e o papel da arquitetura e urbanismo na construção de smart cities. *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 10, n. 1, p. 43-53, 2018.

YOSINO, Carolina Midori Oquendo; FERREIRA, Sergio Leal. Desafios na criação de modelagem CIM através da interoperabilidade entre plataformas GIS e BIM. *Simpósio*

Brasileiro De Tecnologia Da Informação E Comunicação Na Construção, v. 2, p. 1-7, 2019.

YOSINO, Carolina Midori Oquendo. Modelagem baseada no conceito City Information Modeling para estudo do sistema logístico de coleta de resíduos sólidos urbanos. São Paulo. 2020. 130 p. (Mestrado) Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

ZUCCARELLO, Cristiano. Djibouti Multipurpose Port: concetti openBIM per la rappresentazione informativa di un'infrastruttura portuale. 2021.

ZHU, Junxiang; WU, Peng. A common approach to geo-referencing building models in industry foundation classes for bim/gis integration. ISPRS International Journal of Geo-Information, v. 10, n. 6, p. 362, 2021.

Zhu, Junxiang; WU, Peng. BIM/GIS data integration from the perspective of information flow. Automation in Construction, v. 136, p. 104166, 2022.

ZHU, Junxiang; WU, Peng. Towards effective BIM/GIS data integration for smart city by integrating computer graphics technique. Remote Sensing, v. 13, n. 10, p. 1889, 2021.

ZHU, Junxiang et al.. BIM/GIS integration for web GIS-based bridge management. Annals of GIS, v. 27, n. 1, p. 99-109, 2021.

3DBAG: Site oficial do 3DBAG. Disponível em: <https://3dbag.nl/>. Acesso em :02 de fevereiro de 2024

3DCityDB: Site oficial do 3DCityDB. Disponível em: <https://www.3dcitydb.org/>. Acesso em :02 de fevereiro de 2024


```

    <mxPoint x="-84" y="-760" />

  </Array>

</mxGeometry>

</mxCell>

<mxCell id="3sPiTEJWnx0smq3M6A2T-47" value="1"
style="edgeLabel;resizable=0;html=1;align=left;verticalAlign=bottom;" connectable="0" vertex="1"
parent="3sPiTEJWnx0smq3M6A2T-46">

  <mxGeometry x="-1" relative="1" as="geometry" />

</mxCell>

<mxCell id="3sPiTEJWnx0smq3M6A2T-50"
style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;jettySize=auto;html=1;exitX=0.5;exitY=0;
exitDx=0;exitDy=0;entryX=0.158;entryY=0.997;entryDx=0;entryDy=0;entryPerimeter=0;" edge="1" parent="1"
source="pqspTGuAio9I8c8KINq3-2" target="J_scQehXPiuLfREs48aq-1">

  <mxGeometry relative="1" as="geometry">

    <Array as="points">

      <mxPoint x="-595" y="-750" />

      <mxPoint x="-42" y="-750" />

    </Array>

  </mxGeometry>

</mxCell>

<mxCell id="3sPiTEJWnx0smq3M6A2T-52"
style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;jettySize=auto;html=1;exitX=0.5;exitY=0;
exitDx=0;exitDy=0;entryX=0.349;entryY=1.006;entryDx=0;entryDy=0;entryPerimeter=0;" edge="1" parent="1"
source="pqspTGuAio9I8c8KINq3-6" target="J_scQehXPiuLfREs48aq-1">

  <mxGeometry relative="1" as="geometry">

    <Array as="points">

      <mxPoint x="-75" y="-730" />

      <mxPoint x="40" y="-730" />

    </Array>

  </mxGeometry>

</mxCell>

<mxCell id="3sPiTEJWnx0smq3M6A2T-53"
style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;jettySize=auto;html=1;exitX=0.5;exitY=0;
exitDx=0;exitDy=0;entryX=0.44;entryY=1.006;entryDx=0;entryDy=0;entryPerimeter=0;" edge="1" parent="1"

```

```
source="pqspTGuAio9I8c8KINq3-17" target="J_scQehXPiuLfREs48aq-1">
  <mxGeometry relative="1" as="geometry">
    <Array as="points">
      <mxPoint x="160" y="-730" />
      <mxPoint x="79" y="-730" />
    </Array>
  </mxGeometry>
</mxCell>
  <mxCell id="3sPiTEJWnx0smq3M6A2T-57"
style="edgeStyle=orthogonalEdgeStyle;rounded=0;orthogonalLoop=1;jettySize=auto;html=1;exitX=0.5;exitY=0;
exitDx=0;exitDy=0;entryX=0.588;entryY=1.003;entryDx=0;entryDy=0;entryPerimeter=0;" edge="1" parent="1"
source="pqspTGuAio9I8c8KINq3-26" target="J_scQehXPiuLfREs48aq-1">
  <mxGeometry relative="1" as="geometry" />
</mxCell>
</root>
</mxGraphModel>
</diagram>
</mxfile>
```