



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E
TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

BIANCA TENÓRIO DE MELO XAVIER DE SOUZA

**INTEGRAÇÃO SIG-BIM PARA O APRIMORAMENTO DO CADASTRO TÉCNICO
DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS: Estudo de Caso: Algás-AL**

Recife

2024

BIANCA TENÓRIO DE MELO XAVIER DE SOUZA

**INTEGRAÇÃO SIG-BIM PARA O APRIMORAMENTO DO CADASTRO TÉCNICO
DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS: Estudo de Caso: Algás-AL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação.

Orientador (a): Prof. Dr. Andrea Flávia Tenório Carneiro

Recife

2024

.Catalogação de Publicação na Fonte. UFPE - Biblioteca Central

Souza, Bianca Tenorio de Melo Xavier de.

Integração SIG-BIM para o aprimoramento do cadastro técnico de redes de distribuição de gás: estudo de caso: Algás-AL / Bianca Tenorio de Melo Xavier de Souza. - Recife, 2024.
69f.: il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2024.

Orientação: Andrea Flávia Tenório Carneiro.

1. Cadastro Técnico; 2. Objetos territoriais; 3. Redes de infraestrutura subterrâneas; 4. BIM; 5. SIG 3D. I. Carneiro, Andrea Flávia Tenório. II. Título.

UFPE-Biblioteca Central

BIANCA TENÓRIO DE MELO XAVIER DE SOUZA

**INTEGRAÇÃO SIG-BIM PARA O APRIMORAMENTO DO CADASTRO TÉCNICO
DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE GÁS: Estudo de Caso: Algás-AL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito para obtenção do título de mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação.

Aprovado em: 25/03/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Andrea Flávia Tenório Carneiro (Orientadora)

Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Guilherme Henrique Barros de Souza (Examinador Externo)

Universidade Estadual Paulista

Prof. Dr. Adolfo Lino de Araújo (Examinador Externo)

Instituto Federal de Santa Catarina

*Dedico a todas as mulheres, que assim como eu,
lutam para conquistar seu lugar de direito na sociedade.*

AGRADECIMENTOS

Após uma jornada longa e desafiadora, é chegada a hora de expressar minha profunda gratidão a todos que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

Primeiramente, gostaria de reconhecer o esforço e a dedicação que investi nesta empreitada. Sem minha perseverança, jamais teria alcançado tantas conquistas.

Agradeço aos meus pais, cujo apoio incondicional foi a luz que me guiou durante todo este percurso. Ao meu pai, por seu constante orgulho e crença em mim, incentivando-me a perseguir meus sonhos. À minha mãe, por seu eterno estímulo aos meus estudos e por me preparar para os desafios da vida.

À minha orientadora, Andrea, expresso minha sincera gratidão. Sua orientação paciente, sabedoria e confiança em meu trabalho foram fundamentais para meu crescimento acadêmico e pessoal durante esta jornada.

Aos professores do programa, sou grata pela sua dedicação em compartilhar conhecimento e orientação ao longo deste percurso acadêmico.

À Algás, que foi o local de estudo desse projeto e que forneceu o material necessário para a conclusão dessa dissertação. Local que também foi minha primeira experiência profissional, onde pude aprender na prática as aplicações da agrimensura no meio profissional, e formar novos amigos.

À banca examinadora, agradeço pela atenção dedicada ao meu trabalho, pelas contribuições valiosas e pelo apoio desde a concepção do projeto.

À Imagem Geosistemas, minha atual empresa, expresso minha gratidão por fornecer as ferramentas e o suporte necessários para a realização deste projeto, além de contribuir para o meu crescimento profissional.

Às minhas irmãs, Bruna e Maria, por seu apoio incondicional e por trazerem leveza aos momentos mais desafiadores desta jornada.

Ao meu namorado, Matheus, o qual a todo momento me apoiou e ajudou no que podia e conseguia. Seu apoio incondicional, compreensão e encorajamento foram fundamentais para superar os obstáculos ao longo deste caminho.

Muito obrigada!

RESUMO

Espaços cada vez mais urbanizados e densamente ocupados exigem a implantação de sistema de redes de infraestrutura com água encanada, sistema de esgotamento sanitário, sistema de distribuição de energia, de gás, entre outros. A carência de dados e a falta de clareza a respeito da localização e profundidade das redes de infraestruturas subterrâneas podem acarretar uma série de adversidades, dificultando o planejamento de obras na superfície e no subsolo. Nesse contexto, a pesquisa analisou a possibilidade de integração da modelagem BIM (*Building Information Model*) de redes subterrâneas ao Sistema de Informações Geográficas – SIG do cadastro técnico da concessionária de gás natural do estado de Alagoas - ALGÁS. Tais redes subterrâneas foram tratadas como objetos territoriais físicos, de acordo com documentos internacionais e nacionais de referência, a serem associados às parcelas do cadastro territorial. Com base nas informações disponibilizadas, utilizando a metodologia *Design Research*, foi possível realizar a integração SIG-BIM para redes de infraestruturas subterrâneas, utilizando como ferramentas computacionais o AutoCAD Civil 3D e o ArcGIS Pro. A aplicação do AutoCAD Civil 3D permitiu a inclusão do componente Z nas informações do cadastro de rede. Por meio de consultas aos Desenhos Conforme Construídos (DCCs), foi possível integrar ao recorte da base cadastral as informações sobre interferências subterrâneas, como redes de água, saneamento, esgoto, eletricidade e telefonia. Com os dados do modelo BIM integrados ao ArcGIS, foi possível utilizar as poderosas ferramentas de visualização e análise espacial do programa para realizar análises específicas dos dutos subterrâneos. Isso inclui a criação de mapas temáticos para visualizar diferentes aspectos dos dutos, como fluxo, pressão ou condição estrutural, e a realização de análises de sobreposição com outros dados espaciais, como localização de edifícios, ruas ou redes de infraestrutura. Com a conclusão da modelagem, foi possível criar um fluxo de etapas para a integração entre SIG e BIM, que proporciona uma compreensão dos procedimentos e interações entre os sistemas, delineando os pontos de entrada, saída e transição de dados. Os resultados indicam uma alternativa para a integração de objetos territoriais subterrâneos ao cadastro territorial da superfície e a estruturação de dados para uma gestão mais eficaz. A integração entre SIG e BIM proporciona o aprimoramento da compreensão espacial, suporte à tomada de

decisões embasada, a otimização na gestão de ativos, redução de conflitos e erros, além de promover a padronização e interoperabilidade entre sistemas.

Palavras-chave: Cadastro Técnico; Objetos territoriais; Redes de infraestrutura subterrâneas; BIM; SIG 3D.

ABSTRACT

Increasingly urbanized and densely occupied spaces require the implementation of an infrastructure with piped water, sewage systems, power and gas distribution systems, among others. The lack of data and clarity about the location and depth of underground infrastructure networks can lead to a series of problems, making it difficult to plan surface and underground works. In this context, the research analyzed the possibility of integrating BIM (Building Information Model) of underground networks to the Geographic Information System - GIS of the technical cadastre of the natural gas concessionaire in the state of Alagoas - ALGÁS. These underground networks were treated as physical land objects, in accordance with international and national reference documents, to be associated with the cadastral parcels. Based on the information made available, using the Design Research methodology, it was possible to carry out GIS-BIM integration for underground infrastructure networks, using AutoCAD Civil 3D and ArcBIM as computational tools. The use of AutoCAD Civil 3D made it possible to include the Z component in the network registration information. By consulting as-built drawings (DCCs), it was possible to integrate information on underground interferences, such as water, sanitation, sewage, electricity and telephone networks, into the cadastral base. With the data from the BIM model integrated into ArcGIS, it was possible to use the program's powerful visualization and spatial analysis tools to carry out specific analyses of underground pipelines. This includes creating thematic maps to visualize different aspects of the pipelines, such as flow, pressure or structural condition, and performing overlay analyses with other spatial data, such as the location of buildings, streets or infrastructure networks. With the completion of the modeling, it was possible to create a flow of steps for the integration of GIS and BIM, which provides an understanding of the procedures and interactions between the systems, outlining the points of entry, exit and transition of data. The results indicate an alternative for integrating underground territorial objects into the cadastre and structuring data for more effective management. The integration of GIS and BIM improves spatial understanding, supports informed decision-making, optimizes asset management, reduces conflicts and errors, and promotes standardization and interoperability between systems.

Keywords: Cadastre; Land objects; Subsurface Utility Networks; BIM; 3D GIS.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01: Parte da Linha planejada do Metrô de Munique (Lod 3).	23
Figura 02: Arquitetura modular IFC.	27
Figura 03: Níveis de integração BIM-GIS.	30
Figura 04: Metodologia para integração BIM-GIS.	31
Figura 05: Localização da rede de distribuição de gás natural em Maceió.	35
Figura 06: Processos de elaboração de projetos e implantação de rede de gás enterrada.	36
Figura 07: Fluxograma das etapas de elaboração do projeto.	40
Figura 08: Fluxograma da etapa de Modelagem da Informação.	40
Figura 09: Representação da rede de dutos de distribuição de gás no cadastro da Algás.	42
Figura 10: Representação das conexões de rede de gás.	43
Figura 11: Representação das interferências mapeadas no entorno da nova rede. .	43
Figura 12: Ramal de cliente interligado à rede de distribuição.	44
Figura 13: Perfil da interligação do duto de distribuição de gás ao ponto de recebimento do cliente.	45
Figura 14: Fluxo utilizado para adição do componente 3D ao cadastro da rede.	45
Figura 15: Recorte da base cadastral da rede de distribuição de gás da Algás.	46
Figura 16: Exemplo de perfil da rede de distribuição de 63mm presente no recorte da base cadastral.	47
Figura 17: Exemplo de perfil da interligação do duto de distribuição de gás ao ponto de recebimento do cliente presente no recorte da base cadastral.	48
Figura 18: Mapeamento de interferências integrado ao recorte da base cadastral. ...	49
Figura 19: Possibilidades de conexões entre os ambientes Cloud e desktop da Esri e Autodesk	51
Figura 20: Modelagem BIM vista no Software <i>ArcGIS Pro 3.1</i>	52

Figura 21: Simbologia dos atributos BIM importados para o ArcGIS.	53
Figura 22: Integração parcial SIG-BIM no <i>ArcGIS Pro</i>	55
Figura 23: Integração SIG-BIM no <i>ArcGIS Pro</i>	56
Figura 24: Atributos da rede de 63mm de distribuição de gás da Algás.	57
Figura 25: Modelo de integração SIG-BIM.	58

LISTA DE QUADROS

Quadro 01: Normas brasileiras referentes a implantação de sistemas de rede de gás encanado.....	32
Quadro 02: Normas e Especificações Técnicas – Algás.....	33
Quadro 03: Instruções para condução da <i>Design Science Research</i>	39
Quadro 04: Conclusão dos passos de condução da metodologia <i>Design Science Research</i>	60

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AEC	Arquitetura, Engenharia e Construção
BIM	<i>Building Information Modelling</i>
CAD	<i>Computer-Aided Design</i>
COMPESA	Companhia Pernambucana de Saneamento
CTM	Cadastro Territorial Multifinalitário
DCC	Desenho Conforme Construído
GEEN	Gerência de Engenharia
GIS	<i>Geographic Information Systems</i>
GNV	Gás natural veicular
GPR	<i>Ground Penetration Radar</i>
GUD	Gerenciador Único de Documentos
IFC	<i>Industry Foundation Classes</i>
ISSO	<i>International Organization for Standardization</i>
LADM	<i>Land Administration Domain Model</i>
LoD 3	<i>Level of Details 3</i>
mm	Milímetros
M.N.D.	Método Não Destrutivo
MUB	Mobiliário Urbano
NBR	Normas Brasileiras
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
RDGN	Rede de Distribuição de Gás Natural
SIG	Sistema de Informação Geográfica
UML	<i>Unified Language Model</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 JUSTIFICATIVA	18
3 OBJETIVOS DA PESQUISA	20
3.1 OBJETIVO GERAL	20
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
4 REFERENCIAL TEÓRICO	21
4.1 OBJETOS TERRITORIAIS.....	21
4.2 CADASTRO 3D DE REDES DE INFRAESTRUTURAS SUBTERRÂNEAS.....	22
4.3 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS PARA CADASTRO 3D.....	23
4.4 BIM (<i>Building Information Modelling</i>).....	24
4.4.1 CIM (<i>City Information Modeling</i>)	25
4.5 <i>INDUSTRY FOUNDATION CLASSES</i> (IFC).....	26
4.6 INTEGRAÇÃO ENTRE SIG E BIM.....	28
4.7 NORMATIVAS TÉCNICAS PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA ESTRUTURA DE REDE DE GÁS.....	31
5 MATERIAIS E MÉTODOS	35
5.1 ÁREA DE ESTUDO.....	35
5.1.1 O cadastro da Algás	36
5.1.2 Processo de Atualização da Base Cartográfica da Algás	37
5.2 RECURSOS MATERIAIS.....	38
5.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	38
5.3.1 Atributos de Rede Utilizados no Cadastro da Algás	42
5.3.2 Modelando os Dados do Cadastro no AutoCAD Civil 3D	45
5.3.3 Utilização do ArcGIS Pro para a Integração SIG-BIM	50
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
6.1 A INTEGRAÇÃO ENTRE BIM e SIG.....	54
7 CONCLUSÕES	60

REFERÊNCIAS.....	63
------------------	----

1 INTRODUÇÃO

O crescimento urbano desordenado é um problema presente em muitas cidades inseridas no território brasileiro. Grande parte desse aumento populacional em centros urbanos se deu por conta do êxodo rural, que ocorreu de forma mais intensa durante o processo de industrialização do Brasil.

Para que uma cidade se torne habitável, é imprescindível que a mesma conte com um bom sistema de redes de infraestrutura com água encanada, sistema de esgotamento sanitário, sistema de distribuição de energia, entre muitos outros. Conforme Guedes *et al.* (2017), o planejamento dos espaços é fundamental para que haja uma democratização da cidade e um fornecimento à população de redes de infraestruturas que respondam às necessidades mínimas. Dessa forma torna-se possível organizar a sociedade e gerir o espaço físico para a população, minimizando assim os prováveis impactos gerados na cidade e no meio ambiente.

Segundo Pouliot e Girard (2016), por conta do aumento do número de objetos subterrâneos, principalmente em áreas urbanas, o registro desses objetos está se tornando uma obrigação. Conseqüentemente, o levantamento e a gestão dessas redes subterrâneas são de grande interesse para as cidades, a fim de prover serviços seguros e confiáveis aos cidadãos.

O Cadastro de redes de infraestrutura é realizado, em sua maioria, em formato 2D, o que pode dificultar na visualização de algumas feições da rede e sua altimetria. Além do mais, as redes de infraestrutura muitas vezes compartilham dimensões geométricas complexas que não são facilmente representadas ou integradas nas atuais estruturas cadastrais 2D. Por consequência, na maioria dos países, há uma defasagem nos mapas cadastrais de serviços subterrâneos e ausência de uma cartografia pública atualizada. (VAN OOSTEROM *et al.*, 2014 apud POULIOT; GIRARD, 2016).

Atualmente o cadastro 3D vem sendo discutido como uma alternativa para que haja uma melhor visualização e gestão de redes de infraestrutura. Para Moreno Várquez e Erba (2018), o cadastro 3D deve registrar objetos territoriais com precisão espacial, identificando-os e localizando-os geometricamente com seus volumes e formas. Um registro em 3D permite o relacionamento entre objetos territoriais, ou parte

deles, projetar reposicionamentos e modificações, e também, analisar a influência de novos objetos antes mesmo de sua existência por meio da construção de cenários propostos.

No decorrer dos anos, pesquisadores de diferentes nacionalidades têm estudado modelagens de cadastro 3D, sendo alguns deles: Aydin (2008) em Ancara, capital da Turquia; Becker, Nagel e Kolbe (2011) em Berlim; Balogun, Matori e Lawal (2011) na Malásia; Van Oosterom (2014) na Holanda; Pouliot e Girard (2016) no Canadá; Mazroob Semnani *et al.* (2018); Rajabifard, Atazadeh, Kalantari (2018), na Austrália; Kitsakis *et al.* (2019); e Silva, Purificação e Carneiro (2018) em Recife, no Brasil.

Alguns modelos de dados utilizados para representar, trocar e armazenar redes de infraestrutura são os modelos ArcGIS para soluções de utilidade baseadas em SIG, o modelo IFC (*Industry Foundation Classes*) para construir um amplo sistema de abastecimento e o INSPIRE para um sistema de abastecimento em toda a cidade ou país. (BECKER; NAGEL; KOLBE, 2012).

Dentro do contexto do cadastro 3D de redes de infraestruturas subterrâneas, Silva (2017) desenvolveu uma modelagem de cadastro de redes de abastecimento d'água, baseado no padrão LADM (*Land Administration Domain Model*), utilizando como estudo de caso o cadastro de rede de abastecimento de água da Companhia Pernambucana de Saneamento – COMPESA. Já Santos (2022), aplicou os conceitos e métodos do cadastro *Fit-For-Purpose* ao aprimoramento do cadastro técnico de redes de água da mesma companhia, por meio da integração de dados de diferentes fontes e utilização de dados tridimensionais.

Seguindo esta linha de pesquisa, esta pesquisa visa aprofundar o tema, com uma proposta de aperfeiçoamento do cadastro 3D de redes de distribuição de gás.

2 JUSTIFICATIVA

Diante da precariedade dos sistemas de distribuição de redes de infraestrutura, anualmente uma considerável parcela da população brasileira é afetada por esse abastecimento deficiente. Por conta dessa problemática, uma das metas da Agenda 2030, dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), é que até 2030 se torne possível alcançar o acesso a saneamento e higiene adequados e equitativos para todos.

Segundo indicadores fornecidos pelo IBGE (2018) para a ODS, no Brasil, apenas 60% da população tem acesso a serviços de saneamento gerenciados de forma segura, enquanto na região Nordeste esse número cai para 54% de cidadãos que tem acesso a um sistema de esgotamento sanitário adequado.

Em 15 de julho de 2020 foi sancionado o novo Marco Legal do Saneamento Básico. A principal meta do Governo Federal é alcançar a universalização do setor até 2033, desta forma garantindo que 99% da população brasileira tenha acesso à água potável e 90% ao tratamento e a coleta de esgoto. (BRASIL, 2020).

Perante os dados expostos, se torna evidente a importância do cadastro de redes de infraestrutura, pois por meio do conhecimento e de uma gestão eficiente das redes existentes, a manutenção pode ser simplificada e um projeto de expansão de rede facilitado.

A falta de um cadastro adequado pode se tornar uma das principais causas de danificações às redes de serviços durante obras, reparos ou escavações. A carência de dados e a falta de clareza a respeito da localização e profundidade das redes de infraestruturas subterrâneas podem acarretar uma série de adversidades, dificultando o planejamento de obras na superfície e no subsolo. Esse impacto não pode ser subestimado, visto que é capaz de gerar altos custos para a economia de suas concessionárias. (DÖNER *et al.*, 2011).

Nesse sentido, o Cadastro 3D se torna um facilitador dessa gestão cadastral, uma vez que o mesmo permite uma maior precisão na localização das redes de infraestrutura.

A disseminação das geotecnologias ao longo do país e a evidente necessidade de compartilhamento de dados apontam que o Brasil está vivenciando um momento pertinente para a reflexão e definição de estratégias que permitam estruturar um Cadastro Territorial Multifinalitário (CTM) 3D. Todavia, para o êxito de um CTM 3D, é indispensável a definição de padrões de estruturação e de troca de dados, pois muito se tem perdido pela falta de informações precisas sobre o território brasileiro, fato este que tem atrasado o tão almejado desenvolvimento nacional. (CARNEIRO; ERBA; AUGUSTO, 2011).

Silva (2017) afirma que a profundidade da rede de seu estudo de caso é simulada pela empresa responsável em praticamente 70% das tubulações. Deste modo, a visualização da rede em 3D é uma necessidade concreta, uma vez que a mesma possui coordenadas X, Y e Z. A falta de interoperabilidade entre os dados torna-se um fator importante nesse contexto, visto que a medida real da profundidade da rede física não é compartilhada em um link direto com o banco de dados que gerencia a rede.

Em abril de 2021, foi sancionada a lei nº 14.133/2021 referente a licitações e contratos administrativos, nela está previsto que os órgãos administrativos com competências regulamentares referentes às atividades de administração de materiais, de obras e serviços e de licitações e contratos deverão, nas licitações de obras e serviços de engenharia e arquitetura, dar preferência a utilização *Building Information Modelling* - BIM. (BRASIL, 2021).

Dado que os projetos de infraestrutura combinam a necessidade de detalhamento das construções (BIM) com a de detalhamento contextual (SIG – Sistema de Informação Geográfica), tem havido esforços contínuos para combinar as duas fontes de informação. (LIU; ELLUL; SWIDERSKA, 2021).

Diante da atual situação cadastral brasileira, a pesquisa pretende propor uma modelagem de Cadastro 3D para redes de infraestruturas com base na integração de modelos de estruturas físicas ao atual Cadastro 2D, utilizando como caso de estudo redes subterrâneas de gás natural.

3 OBJETIVOS DA PESQUISA

3.1 OBJETIVO GERAL

ANALISAR a possibilidade de integração da modelagem física de projetos de redes subterrâneas ao cadastro técnico de uma empresa de distribuição de gás.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- IDENTIFICAR o estado da arte do cadastro de redes de infraestrutura;
- ANALISAR a estrutura atual do cadastro técnico de uma rede de distribuição de gás;
- VERIFICAR as possibilidades para o desenvolvimento de um modelo de integração SIG/BIM de redes subterrâneas;
- PROPOR um processo para o aprimoramento do cadastro técnico baseado na integração dos projetos.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 OBJETOS TERRITORIAIS

Segundo Kaufmann e Steudler (1998), o modelo Cadastro 2014 introduz o conceito de objeto territorial, diferenciando-o do conceito de parcela. Enquanto a parcela representa uma porção de terra com limites definidos e direito de propriedade atribuído a um indivíduo ou pessoa jurídica, o objeto territorial é uma porção de terra com condições homogêneas em seus limites e pode ser definido como objeto territorial legal e objeto territorial físico. O objeto territorial legal é descrito pelo conteúdo legal de um direito ou restrição e pelos limites nos quais esses direitos e restrições se aplicam. Exemplos de objetos territoriais legais incluem parcelas de propriedade privada, áreas com direitos tradicionais, unidades administrativas, zonas de proteção (água, ruído, poluição) e zoneamentos de uso. Já o objeto territorial físico corresponde a todo elemento natural ou artificial relacionado ao território, como construções, ruas ou redes de infraestruturas sobre a superfície ou subterrâneas. (KAUFMANN e STEUDLER, 1998 apud SANTOS; FARIAS; CARNEIRO, 2013; FRANÇA *et al.*, 2018).

A norma brasileira NBR 17047 de 2022 adota este conceito internacional, estabelecendo como definição de objeto territorial a extensão ou volume contínuo ao qual se aplica um direito ou restrição homogênea, definido por elemento construtivo ou legalmente. Ainda na mesma normativa, define-se que objeto territorial se relaciona espacialmente com as parcelas ou imóveis, podendo estar localizado subjacente a estes e, ainda, acima ou abaixo. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022).

A individualização de limites que não se referem ao caráter de propriedade é possibilitada pelo conceito de objetos territoriais, complementando o conceito de parcela. No contexto brasileiro, as primeiras pesquisas sobre o assunto abordaram questões técnicas, legais e administrativas, resultando em sugestões para a implementação do Cadastro 3D. Uma das sugestões é o Cadastro 3D completo, onde todas as parcelas seriam tratadas como volumes. No entanto, esse modelo é considerado inviável devido à necessidade de mudanças significativas na estrutura legal do país. Outra alternativa é o modelo híbrido 2D/3D, que envolve o registro das parcelas em 2D e a realização de registros adicionais em 3D para parcelas que requerem uma representação tridimensional. Essa abordagem é considerada a mais

adequada para o contexto brasileiro, especialmente considerando a necessidade de informações relacionadas aos objetos territoriais acima e abaixo da superfície. (ANTONIO e ANTUNES, 2016).

4.2 CADASTRO 3D DE REDES DE INFRAESTRUTURAS SUBTERRÂNEAS

A elaboração de cadastros 3D de construções e instalações de objetos subterrâneos permite não só visualizar a localização real de tais objetos, mas também realizar análises que não são acessíveis na abordagem 2D, como a determinação das profundidades dos objetos dentro das parcelas cadastrais selecionadas, determinação das profundidades mínimas e máximas, auxiliando dessa forma o planejamento de futuras obras, análise de riscos e impactos na implantações de objetos subterrâneos, bem como para fins de gerenciamento de crises. (KARABIN *et al.*, 2018).

Segundo Pouliot e Girard (2016), a localização de redes de infraestruturas subterrâneas é bastante desafiadora. Pode-se argumentar que os prestadores de serviços de utilidade pública deveriam ser obrigados a fornecer coordenadas X, Y e Z de suas redes, no entanto, a realidade é bem diferente, existem poucas fontes de informação e registros oficiais contendo redes de infraestruturas subterrâneas. Mesmo em planos 2D, em muitos países, as infraestruturas subterrâneas raramente são mostradas em mapas cadastrais ou registradas em sistemas de administração de terras. Esta situação difere muito de um país para outro. Por exemplo, na Suíça existe um cadastro oficial para tubos subterrâneos, no qual a posição da infraestrutura está parcialmente disponível em 2D com atributo opcional de altura. Já na Austrália, a infraestrutura de rede é totalmente representada em planos 2D.

Breunig *et al.* (2017) exemplifica uma modelagem 3D com o LoD 3 (*Level of Details 3*), como pode ser visto na Figura 01, para o que será uma das principais linhas do metrô de Munique, que tem seu funcionamento previsto para 2026 e está sendo considerada como o projeto de infraestrutura mais importante da região. O modelo criado foi complementado por uma modelagem 3D da cidade, formando uma base para análises de vários modelos, incluindo a detecção de edifícios públicos e privados localizados acima do túnel planejado, por exemplo.

Figura 01: Parte da Linha planejada do Metrô de Munique (Lod 3).



Fonte: Breunig et al. (2017).

4.3 SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS PARA CADASTRO 3D

Existem inúmeras definições para sistemas de informações geográficas (SIG) que são usados para armazenar, recuperar, analisar e exibir dados que são representados espacialmente ou geograficamente. Lü *et al.* (2018) adotam uma definição mais ampla baseada em um sistema de informação pensado para lidar com dados geográficos, espaciais ou geoespaciais para uso espaço-temporal e pesquisa geográfica.

O SIG em seu formato 3D foi projetado com o propósito de auxiliar análises espaciais e tomadas de decisão. A utilização dessa variação no cadastro 3D é totalmente plausível para lidar com a necessidade de consulta espacial sobre propriedade cadastral e extração de direitos comuns e privados. Um SIG 3D propõe métodos apropriados para representar a geometria e topologia de objetos cadastrais em três dimensões e associá-los à direitos de propriedade, podendo todas essas informações serem organizadas em um banco de dados cadastral. (HAJJI *et al.*, 2021).

Para Mickrenska-Cherneva e Mladenov (2020) o processo de concepção e implementação de um GIS (*Geographic Information Systems*) para redes de infraestrutura subterrâneas inclui uma série de atividades relacionadas à análise de dados para identificar objetos, pré-processamento dos dados iniciais, criação de

banco de dados espacial e desenvolvimento de gráficos relevantes. Por esta razão o projeto desenvolvido pelos autores em questão propõe uma abordagem para o desenvolvimento de um SIG, com o objetivo de proporcionar meios para a manutenção de dados de redes de infraestrutura subterrâneas fornecendo acesso a dados digitais e suas características. Após a elaboração do projeto, o resultado obtido foi um modelo geoespacial cuja funcionalidade atende plenamente aos requisitos especificados: criação, manutenção e armazenamento de banco de dados, e informações não espaciais sobre objetos; gerar relatórios padrão; autocriação conjunta de produtos cartográficos; e realização de análises espaciais.

4.4 BIM (*Building Information Modelling*)

O *Building Information Modelling* (BIM) é um processo de modelagem considerado moderno para geração e gerenciamento de representações digitais de características físicas de objetos geográficos. O princípio BIM é baseado em informações digitais sendo coletadas e mantidas por várias partes durante o ciclo de vida do projeto. Vários países têm realizado pesquisas relacionadas a este tópico, como Austrália, Holanda, Grécia, Croácia, Turquia, Coreia, Suécia, Malásia e Kosovo. (PAASCH; PAULSSON, 2021).

A modelagem utilizada para a troca de arquivos BIM em várias plataformas é o padrão *Industry Foundation Classes* (IFC), sendo este um modelo de dados orientado a objetos que conta com um conjunto abrangente de entidades que descrevem aspectos geométricos e semânticos de um projeto ao longo de seu ciclo de vida. Os modelos BIM no formato IFC podem ser decompostos em subconjuntos gerenciáveis, como terrenos, edifícios, andares, espaços e elementos construtivos dentro dos andares. (LIEBICH, 2009 apud ATAZADEH, 2017).

Uma importante tendência de pesquisa é a crescente criação e uso de BIM no cadastro. O BIM contém dados precisos de geometria e informações de construção, que podem apoiar o gerenciamento de informações de terrenos e propriedades. A ligação entre BIM e cadastro 3D é uma nova área de pesquisa que se tornou foco de várias pesquisas, uma vez que o padrão IFC utilizado no BIM pode fornecer informações físicas detalhadas e ricas de uma construção, que pode ser explorado para vincular informações cadastrais 3D aos modelos do mundo físico. Como o BIM

não considera classes especiais de objetos dedicados para registro de dados de acordo com os requisitos do cadastro, alguns pesquisadores apontam maneiras possíveis de superar esse problema usando classes universais IFC. (HAJJI *et al.*, 2021).

Ainda segundo Hajji *et al.* (2021), a solução BIM-GIS 3D proposta para cadastro 3D proporciona a vantagem de vincular objetos espaciais do mundo jurídico e físico. Essa integração entre BIM e SIG 3D é baseada na troca de dados entre os dois sistemas, no entanto a transformação da geometria de BIM para SIG pode gerar erros e causar perda de informações geométricas devido à extração e simplificação de dados de um sistema para outro.

Quando aliados, o BIM e cadastro 3D, auxiliam em diversas questões geográficas, utilizando o padrão interoperável IFC, onde o BIM lida com a construção e decomposição dos elementos físicos, enquanto o cadastro ajuda na manutenção destas parcelas em 3D. Para a extração de dados BIM para uso no cadastro 3D, tenta-se mapear as informações IFC para o LADM (*Land Administration Domain Model*), embora haja muitos desafios para a interoperabilidade entre BIM e Cadastro 3D. (MASTELLA; FERREIRA; OLIVEIRA, 2018).

4.4.1 CIM (*City Information Modeling*)

De acordo com as pesquisas de Xu *et al.* (2021), o conceito de *City Information Modeling* (CIM) surgiu em paralelo ao desenvolvimento da tecnologia BIM. Isso levou à sua inicial concepção como uma extensão do BIM destinada à modelagem urbana. Uma abordagem fundamental para estabelecer o CIM é integrar o BIM com sistemas de informação geográfica, aproveitando as vantagens de ambos: o BIM oferece detalhes internos da construção, enquanto o SIG fornece dados externos sobre a cidade. Essencialmente, o CIM representa uma estrutura colaborativa e multidisciplinar para a criação de modelos tridimensionais (3D) de cidades, com base em informações urbanas. Sua importância crescente é notável, especialmente na construção de cidades inteligentes e digitais, devido à sua capacidade de integrar uma variedade de informações.

Conforme discutido por Santos (2022), os progressos tecnológicos que viabilizam a criação de um ambiente virtual têm desencadeado uma mudança

significativa na maneira como abordamos questões emergentes e na forma como os espaços são concebidos e utilizados. A transição dos modelos físicos para os modelos digitais mais dinâmicos e complexos está intrinsecamente ligada à adoção da modelagem tridimensional digital, que se concentra predominantemente na representação visual. Nesse sentido, o CIM emerge como uma ferramenta que vai além da simples representação gráfica, enfatizando a necessidade de desenvolver abordagens e ferramentas que possibilitem sua aplicação de maneira mais ampla. Isso inclui a integração de dados multidisciplinares, com o objetivo de fornecer suporte para as decisões dos planejadores urbanos e gestores territoriais. Assim, a combinação de informações provenientes de diferentes fontes na cidade surge como uma estratégia promissora para aprimorar o planejamento urbano e a gestão do território.

4.5 INDUSTRY FOUNDATION CLASSES (IFC)

O *Industry Foundation Classes* padrão é um formato de arquivo baseado na organização de padrões internacionais (ISO - *International Organization for Standardization*).

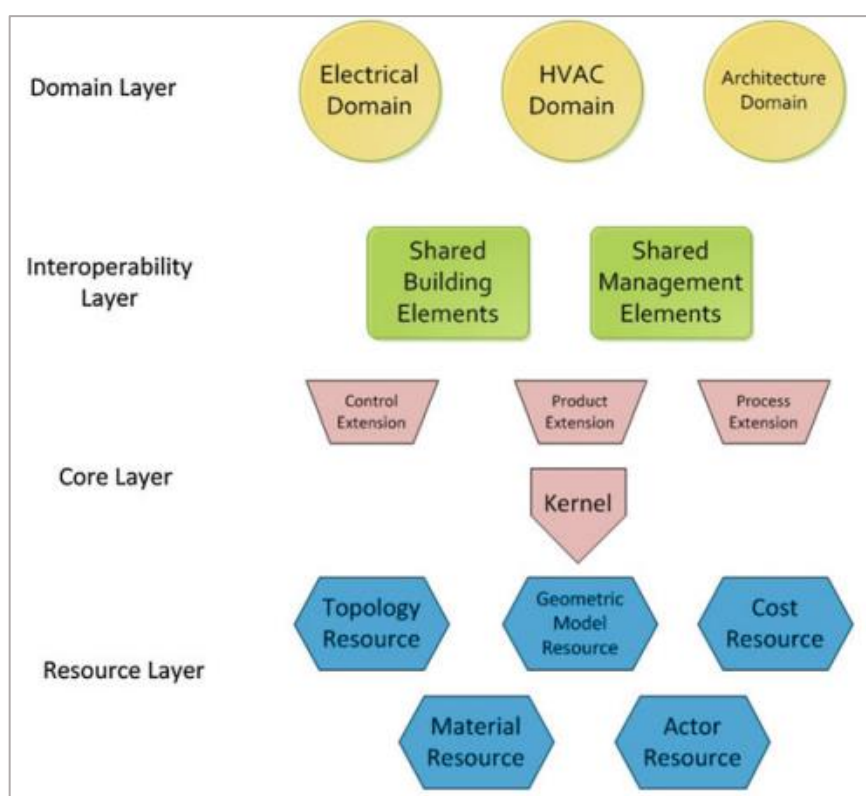
O IFC surgiu como fruto do empenho da Aliança Internacional para Interoperabilidade como uma linguagem com a finalidade de melhorar a comunicação, produtividade, prazo de entrega, custo e qualidade de projetos, construção e manutenção de construções. Objetos baseados em IFC visam permitir que profissionais de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) compartilhem um modelo de projeto enquanto permitem que cada área de atuação defina sua própria visão dos objetos contidos no modelo. Em 2005, a IFC tornou-se uma especificação ISO publicamente disponível como ISO 16.739 (ISIKDA, 2015).

Ainda segundo Isikda (2015), na modelagem IFC cada classe é utilizada para descrever uma série de coisas que possuem características comuns. A estruturação do modelo IFC fornece uma arquitetura modular (Figura 02) para o desenvolvimento de componentes por meio de um esquema de modelo. Existem quatro camadas conceituais dentro da arquitetura, sendo essas:

- A camada conceitual *resource layer* fornece classes de recursos usadas por classes nos níveis mais altos.

- A camada conceitual *core layer* fornece um modelo de projeto central e contém várias extensões centrais.
- A camada conceitual *interoperability layer* fornece um conjunto de módulos que definem conceitos ou objetos comuns em vários tipos de aplicativos ou domínios da indústria da construção.
- Por fim, a camada conceitual *domain layer* fornece um conjunto de módulos adaptados para o domínio específico da indústria de construção ou tipo de aplicação.

Figura 02: Arquitetura modular IFC.



Fonte: Isikda (2015).

Com base na literatura, foi demonstrado que o IFC como um padrão BIM consegue fornecer dados para o cadastro 3D, como dados legais e espaciais de propriedades em estruturas complexas. A integração do ambiente IFC e LADM cria um relacionamento mútuo que proporciona uma melhor compreensão dos espaços jurídicos no futuro. (RASHIDAN; ABDUL RAHMAN; SANI, 2021).

Para Atazadeh, Rafabifard e Kalantari (2018), os modelos de dados cadastrais atuais são focados na modelagem de informações legais. Em essência, a informação legal é adequada para subdividir e registrar direitos relacionados a terra. No entanto, no caso de estruturas complexas, a informação física desempenha um papel significativo na compreensão e comunicação de informações jurídicas. Desta forma, os autores decidiram investigar abordagens de integração de informações jurídicas e informações físicas com base em padrões internacionais, considerando o LADM como o modelo de dados para modelagem de informações legais, enquanto os padrões IFC fornecem elementos de dados físicos para gerenciar o ciclo de vida dos edifícios. Partindo do princípio que existe pouca pesquisa sobre a interação entre os padrões IFC e LADM para construir um modelo integrado, os autores sugerem projetar um modelo de dados cadastrais 3D integrados codificando conceitos LADM dentro do padrão IFC ou expandir versões futuras do padrão LADM incorporando conceitos físicos do padrão IFC.

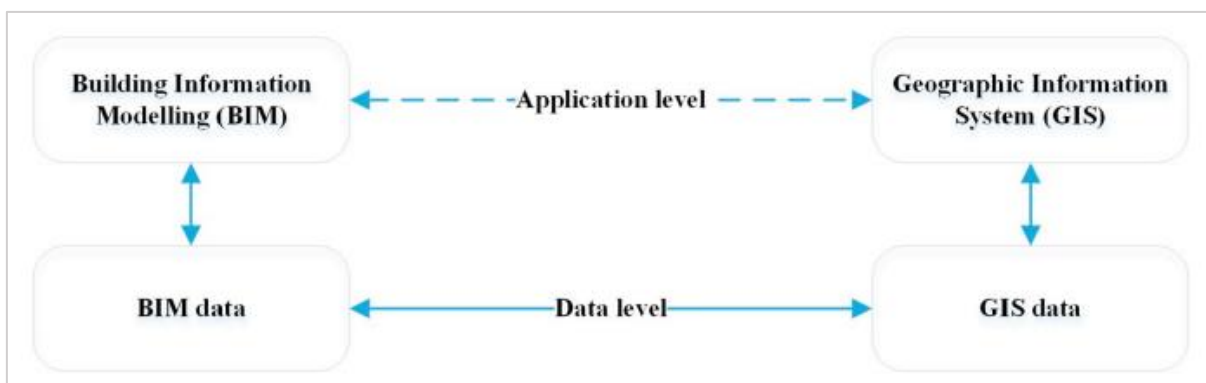
4.6 INTEGRAÇÃO ENTRE SIG E BIM

Ferramentas computacionais equipadas com as tecnologias *Building Information Modeling* (BIM) e Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm o potencial de contribuir significativamente para a melhoria dos serviços públicos e, conseqüentemente, para a qualidade de vida dos cidadãos. No entanto, apesar do BIM ter desempenhado um papel central no desenvolvimento da indústria da construção nas últimas décadas, há uma escassez de pesquisas que exploram sua aplicação na gestão e desenvolvimento de áreas urbanas e cidades. Essa lacuna ocorre devido às limitações inerentes ao BIM em relação à sua capacidade de trabalhar em escala urbana, o que tem impulsionado a busca pela integração com o SIG como uma forma de superar essas restrições e aproveitar os benefícios do BIM nos processos de desenvolvimento urbano. Vale ressaltar que essas ferramentas foram concebidas com propósitos distintos: enquanto o BIM foi projetado para criar modelos de projetos ricos em informações, o SIG foi desenvolvido para representar instalações em extensas áreas geográficas. Portanto, devido às suas características divergentes, a integração desses dois modelos continua sendo um desafio a ser enfrentado. (SOULÉ e BUENO, 2021).

De acordo com Wang, Pan e Luo (2019), a integração BIM-GIS e suas aplicações têm despertado grande interesse como um tópico de pesquisa para o desenvolvimento futuro da sociedade, especialmente no campo do ambiente construído sustentável. Vários estudos têm demonstrado perspectivas promissoras para a integração BIM-GIS em diversas áreas. Dentre os pontos discutidos, destacam-se os avanços técnicos na integração de dados, a aplicação ao ciclo de vida de projetos de AEC, a pesquisas relacionadas à energia e as soluções sociais para problemas práticos nas cidades. No contexto da precisão dos dados, a atualização dos modelos e aprimoramentos na interoperabilidade são considerados essenciais. A visualização dos dados integrados e o uso de modelos semânticos são apontados como estratégias para aprimorar a eficiência energética e o gerenciamento sustentável da energia, tanto em nível de edifício quanto em nível de cidade. Para expandir e aprofundar a aplicação da integração BIM-GIS na governança urbana, é necessário estabelecer padrões de modelagem 3D para edifícios urbanos e políticas que facilitem o compartilhamento eficiente de dados entre os participantes da construção. Em suma, a integração visual avançada, a troca bidirecional de dados, os padrões abertos, a personalização e a experiência do usuário são questões relevantes a serem abordadas no futuro da integração BIM-GIS.

Segundo Zhu *et al.* (2019), a integração pode ser realizada em dois níveis: o nível de dados e o nível de aplicação. No nível de dados, ocorre a transformação dos dados entre os sistemas, visando permitir a livre troca de informações entre as plataformas. Já no nível de aplicação, existem duas formas de integração. A primeira consiste no uso conjunto das tecnologias BIM e GIS em um projeto, enquanto a segunda envolve a incorporação das funcionalidades de um sistema no outro, por meio do desenvolvimento de extensões de aplicativos. A relação entre a integração no nível de aplicação e a integração no nível de dados pode ser visualizada na Figura 03. Vale ressaltar que a troca de dados realizada no nível de dados é a base para a integração no nível de aplicação.

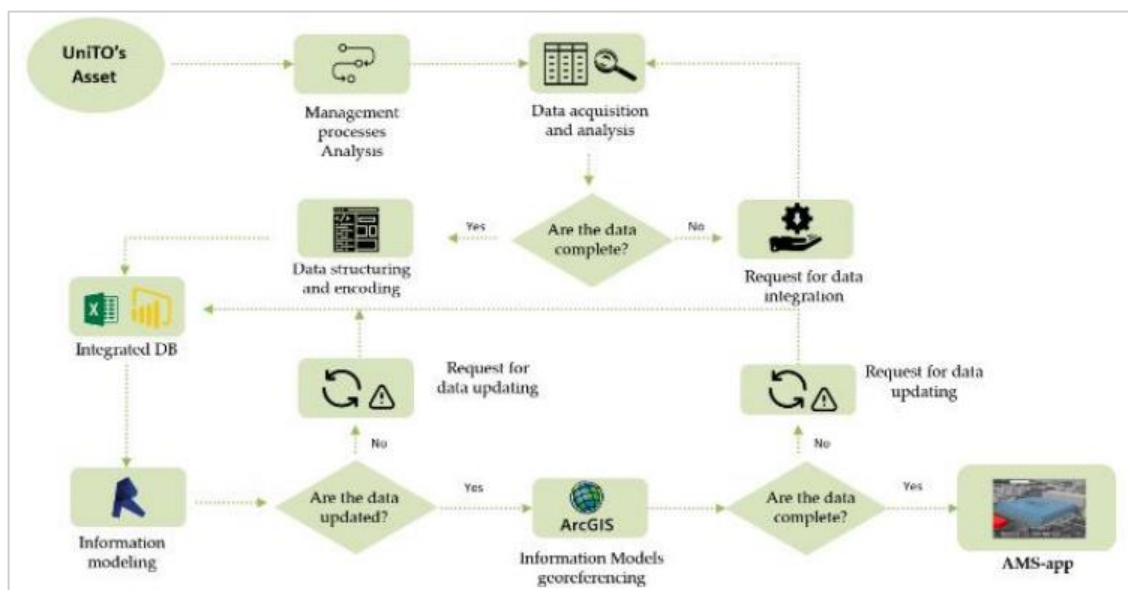
Figura 03: Níveis de integração BIM-GIS.



Fonte: Zhu *et al.* (2019).

A metodologia de integração utilizada por Meschini *et al.* (2022) foi desenvolvida a partir de uma revisão do estado da arte sobre métodos e ferramentas para o desenvolvimento de sistemas de gestão de ativos imobiliários de grande porte, por meio da integração de BIM e GIS. A definição da abordagem metodológica teve início na análise do parque imobiliário da Universidade de Turim e de seus processos de gestão atuais. Os dados adquiridos foram processados e estruturados, resultando na criação de uma base de dados relacional centralizada, que reuniu todos os dados heterogêneos relacionados aos atributos espaciais e funcionais dos ativos. Por fim, uma plataforma web personalizada, que integra BIM e GIS, foi desenvolvida para permitir a visualização do parque imobiliário da Universidade de Turim e seus atributos em um ambiente digital 3D interativo. A Figura 04 ilustra a metodologia utilizada na pesquisa, a qual pode ser replicada em outros casos de uso. O objetivo principal foi desenvolver uma ferramenta digital customizada, denominada AMS-App, que fosse compatível com diversos dispositivos (como smartphones, tablets e laptops), facilitando a consulta e visualização das informações por meio do mapa 3D interativo.

Figura 04: Metodologia para integração BIM-GIS.



Fonte: Meschini *et al.* (2022).

4.7 NORMATIVAS TÉCNICAS PARA IMPLANTAÇÃO DE UMA ESTRUTURA DE REDE DE GÁS

A ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) é responsável pela elaboração das Normas Brasileiras (NBR), elaboradas por seus Comitês Brasileiros, Organismos de Normalização Setorial e Comissões de Estudo Especiais. (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2022).

As NBR que regulamentam as instruções para a implantação de sistemas de rede de gás encanado de Polietileno de Alta Densidade (PEAD), utilizadas pela concessionária de estudo podem ser vistas no Quadro 01.

Quadro 01: Normas brasileiras referentes a implantação de sistemas de rede de gás encanado.

NORMA	TÍTULO
NBR 12712	Projeto de sistemas de transmissão e distribuição de gás combustível
NBR 14461	Sistemas para distribuição de gás combustível para redes enterradas - Tubos e conexões de polietileno PE 80 e PE 100 - Instalação em obra por método destrutivo (vala a céu aberto)
NBR 14462	Sistemas para distribuição de gás combustível para redes enterradas - Tubos de polietileno PE 80 e PE 100 - Requisitos
NBR 14463	Sistemas para distribuição de gás combustível para redes enterradas - Conexões de polietileno PE 80 e PE 100 - Requisitos
NBR 14465	Sistemas para distribuição de gás combustível para redes enterradas - Tubos e conexões de polietileno PE 80 e PE 100 - Execução de solda por eletrofusão
NBR 14466	Tubos de polietileno PE 80 e PE 100 - Verificação da resistência após envelhecimento
NBR 14471	Conexões de polietileno PE 80 e PE 100 - Determinação do fator de perda de carga em tês de serviço
NBR 14473	Tubos e conexões de polietileno PE 80 e PE 100 - Reparo ou acoplamento de novo trecho à rede em carga, com utilização do processo de esmagamento (pinçamento)
NBR 15280-2	Dutos terrestres - Parte 2: Construção e montagem

Fonte: ABNT (2022).

Além das Normas Brasileiras elaboradas pela ABNT, a concessionária de estudo fornece e utiliza suas Normas e Especificações Técnicas internas referentes ao processo de implantação, elaboração de projetos e obras de PEAD (Quadro 02).

Quadro 02: Normas e Especificações Técnicas – Algás.

NORMAS E ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	DESCRIÇÃO/OBJETIVO
ET-GEEN-001. Requisitos da Qualidade em Obras de Construção de Redes e Ramais	Estabelece requisitos mínimos necessários, para a apresentação do plano de controle de qualidade a ser implementado nas fases de construção, montagem, testes, condicionamento, pré-operação e partida da rede de distribuição de gás natural.
ET-GEEN-005. Abertura de Vala para Construção de Redes e Ramais	Estabelece requisitos mínimos necessários, para a execução dos serviços de abertura de vala para construção e montagem da rede de distribuição de gás natural da Algás.
ET-GEEN-007- Soldagem de Tubulação de Polietileno e Poliamida- Solda de Topo e por Eletrofusão - Requisitos	Estabelece requisitos mínimos necessários, a serem seguidos na realização dos processos de soldagem por eletrofusão e termofusão de tubos e acessórios em polietileno e poliamida, utilizados na construção e/ou manutenção em sistemas de distribuição de gás natural – rede e ramais.
ET-GEEN 010 – Trepanação em Tubulação de Polietileno -Requisitos	Estabelece requisitos mínimos necessários, a serem seguidos para realização de trabalhos envolvendo soldagem e furo com o duto em operação (trepanação), em dutos de polietileno (PE80 ou PE100) contendo gás natural, com a utilização de tê de serviço ou tê de balonar.
ET – GEEN 012 – Reaterro de Valas - Requisitos	Estabelece requisitos mínimos necessários, a serem seguidos para a execução dos serviços de reaterro de valas para cobertura de tubos, durante a construção e montagem da rede de distribuição de gás natural da Algás.
ET – GEEN 013 -Furo Direcional (Método Não Destrutivo– M.N.D.) - Requisitos	Estabelece requisitos mínimos necessários, a serem seguidos para planejamento e execução de furo direcional (M.N.D.) para instalação de rede de distribuição de gás natural da Algás, compreendendo a instalação da tubulação e a execução das operações de perfuração, alargamento, puxada, interligação e recomposição.
ET- GEEN-014 – Cruzamentos e Travessias	Define os requisitos mínimos necessários, atendendo às normas de qualidade, segurança, meio ambiente e saúde, para a execução dos serviços de cruzamentos e travessias durante a construção e montagem da rede de distribuição de gás natural da Algás.
ET – GEEN -015 – Curvamento de Tubos - Requisitos	Estabelece requisitos mínimos necessários, a serem seguidos na execução dos serviços de curvamento de tubos, utilizados na construção e/ou manutenção em sistemas de distribuição de gás natural (rede e ramais).

ET – GEEN -019 – Sinalização Permanente de Redes e Ramais	Define os requisitos mínimos necessários, atendendo às normas de qualidade, segurança, saúde e meio ambiente, a serem cumpridos pelo contratado, para a execução dos serviços de sinalização permanente de redes e ramais durante a construção, montagem e manutenção da rede de distribuição de gás natural da Algás.
IT -ALGÁS-052 – Instrução de Trabalho -Elaboração de Desenhos Conforme Construídos (DCC)	Descreve a elaboração de desenho conforme construído (DCC).

Fonte: <https://algas.com.br/normas-e-especificacoes-tecnicas/> (2022).

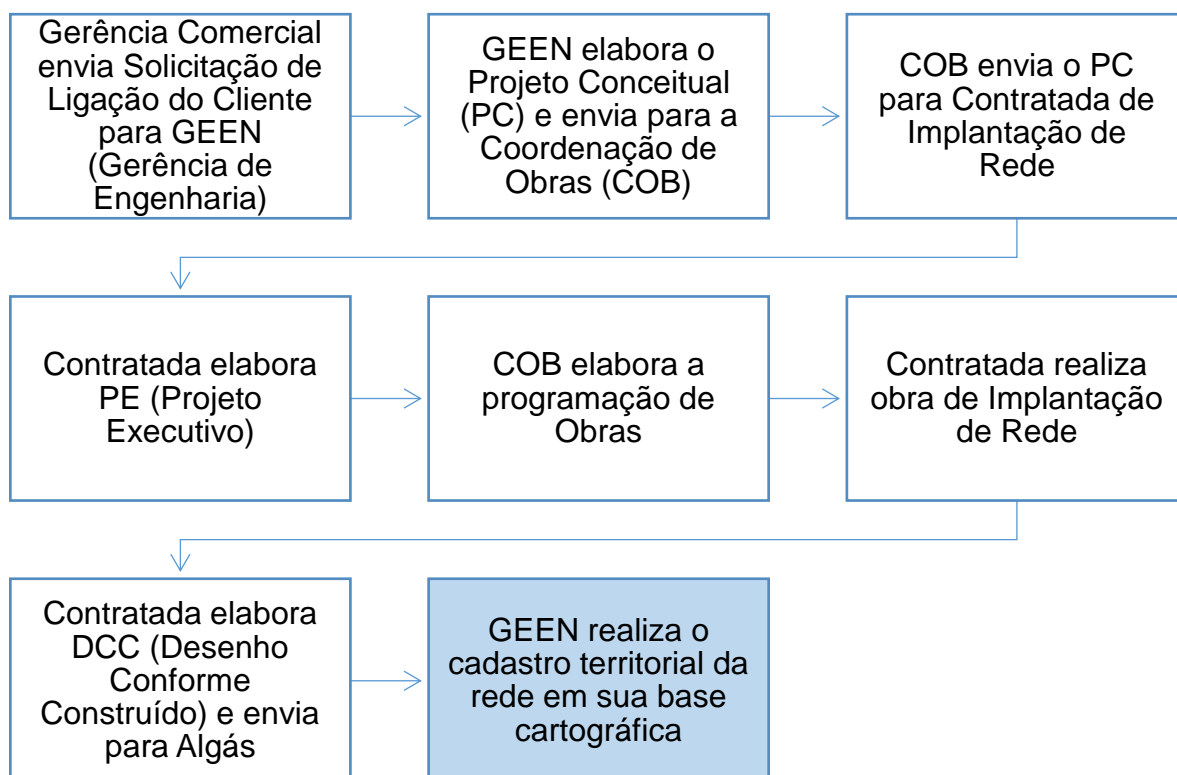
5.1.1 O cadastro da Algás

A Algás é a concessionária alagoana de gás natural, criada em 1993 e atuando até os tempos atuais na distribuição de gás encanado para estado de Alagoas. Tendo foco no fornecimento de gás residencial, comercial e industrial, Gás natural veicular (GNV) e gás para geração e cogeração de energia. (ALGÁS, 2022).

O presente trabalho foi aplicado especificamente ao cadastro da distribuição de gás residencial e comercial de tubulações em PEAD.

Para que o gás encanado chegue até ao cliente da Algás, existe um ciclo de elaboração de projetos até a realização da obra e, por fim, a realização do cadastro da Rede de Distribuição de Gás Natural (RDGN). Este ciclo pode ser visto na Figura 06.

Figura 06: Processos de elaboração de projetos e implantação de rede de gás enterrada.



Fonte: Elaboração própria a partir de informações fornecidos pela Algás (2022).

5.1.2 Processo de Atualização da Base Cartográfica da Algás

O processo de atualização da base cartográfica da Algás se inicia quando a GEEN (Gerência de Engenharia) recebe um arquivo de desenho CAD (*Computer-Aided Design*), intitulado de DCC - Desenho Conforme Construído.

O DCC, elaborado pela contratada, deve estar georreferenciado ao sistema geodésico brasileiro, para que assim seja analisado seguindo diretrizes de qualidade de dados espaciais. Essas diretrizes de qualidade se referem à detecção de não-conformidades durante a Análise do DCC, que começa no setor da COB (Coordenação de obras), onde se validam os materiais usados na respectiva obra, as lateralidades (distâncias entre feições de RDGN e MUB - Mobiliário Urbano) e a profundidade do trecho da rede implantada, e finaliza na GEEN, onde verifica Conectividade, Atributos, Camada, Representação/simbologia, Rotulação, Escala, Diagramação do documento.

Após a verificação do atendimento às diretrizes, as feições de RDGN que estão no DCC são exportadas para a base cartográfica 2D da concessionária em ambiente CAD, e nela editadas para que sejam conectadas à rede de gás existente.

Em seguida, inicia-se o processo de atualização da RDGN no GEOGÁS, Sistema de Informações Geográficas da Algás, através de exportação do ambiente CAD para o banco de dados geográficos que está em plataforma *Oracle Spatial*. As feições tipo CAD (*Polyline, Text, MText, Block*) são convertidas em feições *Map Feature*, registros espaciais do *Oracle Spatial* quando em ambiente CAD.

Por fim, os documentos associados a obra do respectivo DCC são vinculados a feições específicas utilizando a função GUD (Gerenciador Único de Documentos), dentro do ambiente da aplicação Web do GEOGÁS, finalizando o Processo de Atualização da Base Cadastral da Algás.

Todas essas ações de recebimento, análise, cadastro na Base CAD e cadastro no GEOGÁS são registradas numa planilha de controle de DCC, preenchida durante todo esse processo de atualização.

5.2 RECURSOS MATERIAIS

Para execução da metodologia foram utilizados os materiais elencados a seguir:

- Notebook Lenovo, processador Intel core i5, 8 Gb de RAM e sistema Operacional Windows 10;
- Informações sobre sistema cadastral da concessionária de gás de Alagoas, Algás;
- Arquivos em formato DWG de redes de dutos de distribuição da Algás referenciados no Datum SIRGAS 2000;
- Software AutoCAD Civil 3D;
- Software ArcGIS Pro 3.1.

5.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia de pesquisa utilizada para o desenvolvimento da pesquisa será a *Design Research*. O principal objetivo desse processo metodológico é desenvolver conhecimento com a finalidade de concepção e desenvolvimento de artefatos, por meio de estudos, pesquisas e investigações tanto do ponto de vista acadêmico quanto da organização. Sendo dessa forma, o método, responsável por conceber e validar sistemas que ainda não existem, seja criando, recombinação, alterando produtos, processos, softwares e/ou métodos para melhorar as situações existentes. No Quadro 03 são elencadas instruções para condução da *Design Science Research*. (LACERDA *et al.*, 2013).

Quadro 03: Instruções para condução da *Design Science Research*.

Instrução	Descrição
Design como Artefato	A pesquisa fundamentada em Design Science deve produzir um artefato viável, na forma de um constructo, modelo, método e/ou uma instanciação.
Relevância do Problema	O objetivo da pesquisa fundamentada em Design Science é desenvolver soluções baseadas em tecnologia para problemas gerenciais importantes e relevantes.
Avaliação do Design	A utilidade, qualidade e eficácia do artefato devem ser, rigorosamente, demonstradas por meio de métodos de avaliação bem executados.
Contribuições do Design	Uma pesquisa fundamentada em Design Science deve prover contribuições claras e verificáveis nas áreas específicas dos artefatos desenvolvidos, e apresentar fundamentação clara em fundamentos de design e/ou metodologias de design.
Rigor da Pesquisa	A pesquisa em Design Science é baseada em uma aplicação de métodos rigorosos, tanto na construção como na avaliação dos artefatos.
Design como um Processo de Pesquisa	A busca por um artefato eficaz e efetivo exige a utilização de meios que sejam disponíveis, para alcançar os fins desejados, ao mesmo tempo que satisfaz as leis que regem o ambiente em que o problema está sendo estudado.
Comunicação da Pesquisa	A pesquisa em Design Science deve ser apresentada tanto para o público mais orientado à tecnologia quanto para aquele mais orientado à gestão.

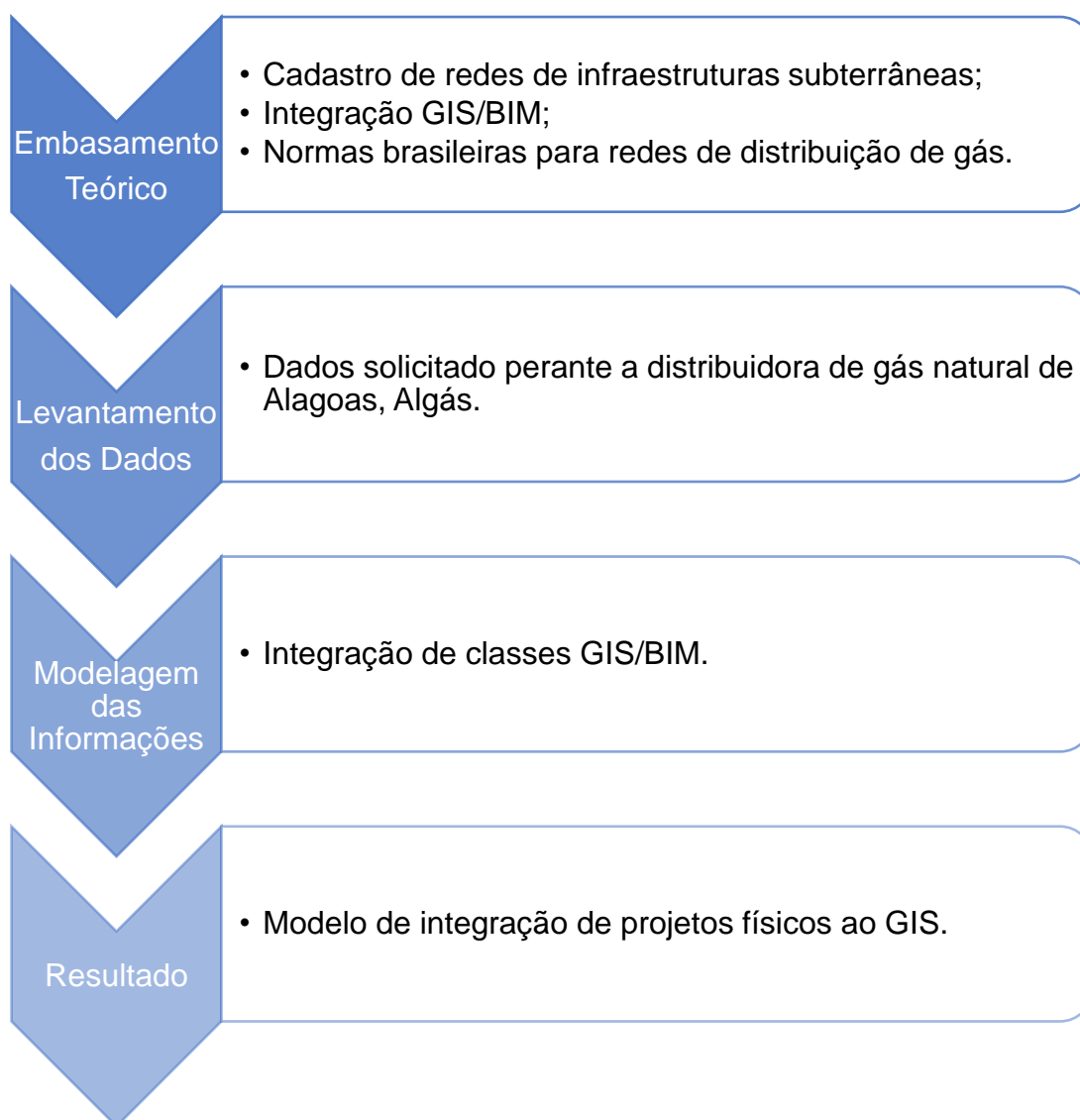
Fonte: Lacerda *et al.* (2013).

Segundo Santos (2022), a escolha do método *Design Science Research* para a elaboração da sua pesquisa foi motivada pelos objetivos de seus estudos, os quais implicam na criação de um modelo de *City Information Modeling - Data Layers* para resolver um problema específico. O *Design Science Research* é selecionado por sua orientação para a solução de problemas e, dentre suas etapas, destaca-se a etapa inicial de conscientização do problema. Em seu estudo, essa fase foi conduzida por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura, resultando na construção de uma matriz de análise para identificar as percepções estratégicas necessárias à elaboração de um artefato que oferecesse uma solução viável. Esse método concentra-se na concepção e validação de sistemas inovadores, seja por meio da criação, recombinação ou adaptação de produtos, processos, softwares ou métodos, com o intuito de aprimorar as situações existentes. Dessa forma, revela-se como uma

abordagem adequada para lidar com problemas complexos e multidisciplinares, visando desenvolver um artefato que contribua efetivamente para a resolução da questão em foco.

Desta forma, para a execução dos objetivos, a metodologia seguiu os passos apresentados na Figura 07, para que dessa forma os resultados esperados sejam alcançados.

Figura 07: Fluxograma das etapas de elaboração do projeto.

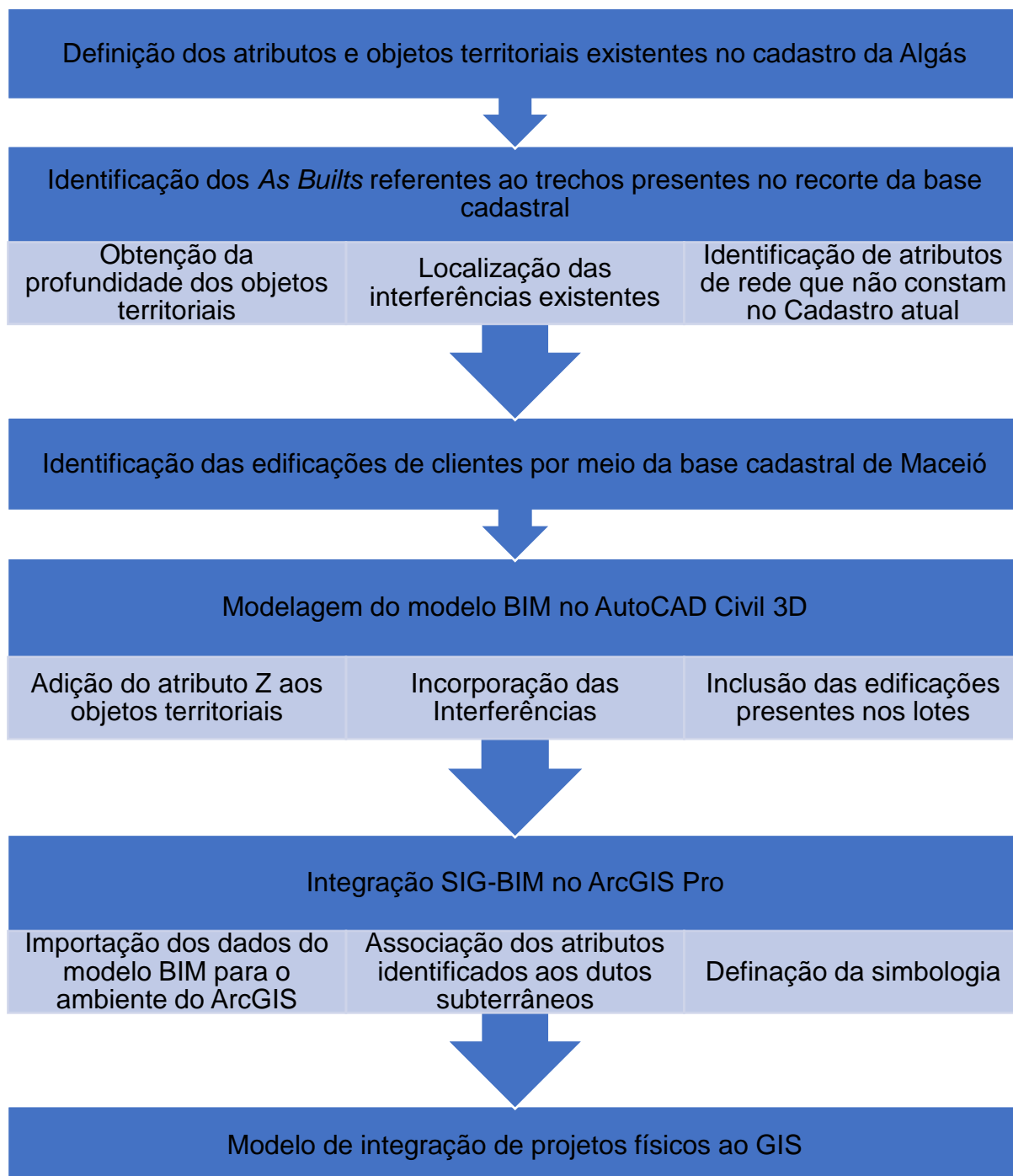


Fonte: Autora (2024).

Para a etapa de modelagem das informações, foram empregados os softwares AutoCAD Civil 3D e ArcGIS Pro, permitindo assim a integração do modelo BIM ao

ambiente SIG. Essa integração foi realizada em nível de dados, conforme descrito por Zhu (2019) e abordado na fundamentação teórica deste projeto. Em tal nível, a principal atividade consiste na transferência de informações entre os sistemas, seja do BIM para o SIG ou vice-versa. A Figura 08 ilustra os passos realizados nesta etapa.

Figura 08: Fluxograma da etapa de Modelagem da Informação.



Fonte: Autora (2024).

5.3.1 Atributos de Rede Utilizados no Cadastro da Algás

Nesta etapa foram identificados os atributos utilizados no cadastro 2D da rede de PEAD (Polietileno de Alta Densidade) da concessionária de gás, como também a forma de representação de cada um deles no atual formato de cadastro na base CAD.

Atualmente, a rede de gás encanado da Algás utiliza tubulações em PEAD com diâmetros de 20, 32, 63 e 110 milímetros (mm). A representação das mesmas no cadastro técnico é realizada através do formato vetorial de linhas, com cada diâmetro representado por uma cor. Na Figura 09 pode-se ver como é feita essa representação da rede de dutos de distribuição de gás ativas e inativas.

Figura 09: Representação da rede de dutos de distribuição de gás no cadastro da Algás.

DIÂMETRO	ATIVO	INATIVO
PEAD 20mm		
PEAD 32mm		
PEAD 63mm		
PEAD 110mm		

Fonte: Algás (2024).

As conexões de rede são representadas por blocos para que se tenha uma melhor interpretação da situação real. Algumas dessas visualizações são divididas em horizontal e vertical, ajudando a demonstrar em que sentido a rede está seguindo. As conexões representadas na base cadastral são: válvula de bloqueio, curva de 45°, curva 90°, Tê de interligação, luvas, cap e luvas de transição. A Figura 10 mostra como são representadas essas conexões.

Figura 10: Representação das conexões de rede de gás.

VÁLVULA DE BLOQUEIO		
CURVA 45°	Horizontal	
	Vertical	
CURVA 90°	Horizontal	
	Vertical	
TÊ	Horizontal	
	Vertical	
REDUÇÃO	Horizontal	
	Vertical	
LUVA	Horizontal	
	Vertical	
CAP	Horizontal	
	Vertical	
LUVA DE TRANSIÇÃO		

Fonte: Algás (2024).

Para uma maior segurança no momento de executar as implantações de novas redes de dutos de distribuição de gás, a concessionária solicita o mapeamento das interferências subterrâneas localizadas no entorno da futura obra, sendo esse mapeamento realizado pelo método *Ground Penetration Radar* (GPR). Dessa forma as interferências referentes a outras empresas de distribuição de serviços, como água, saneamento, eletricidade e telefonia, também complementam o cadastro territorial, podendo observar sua reprodução na Figura 11.

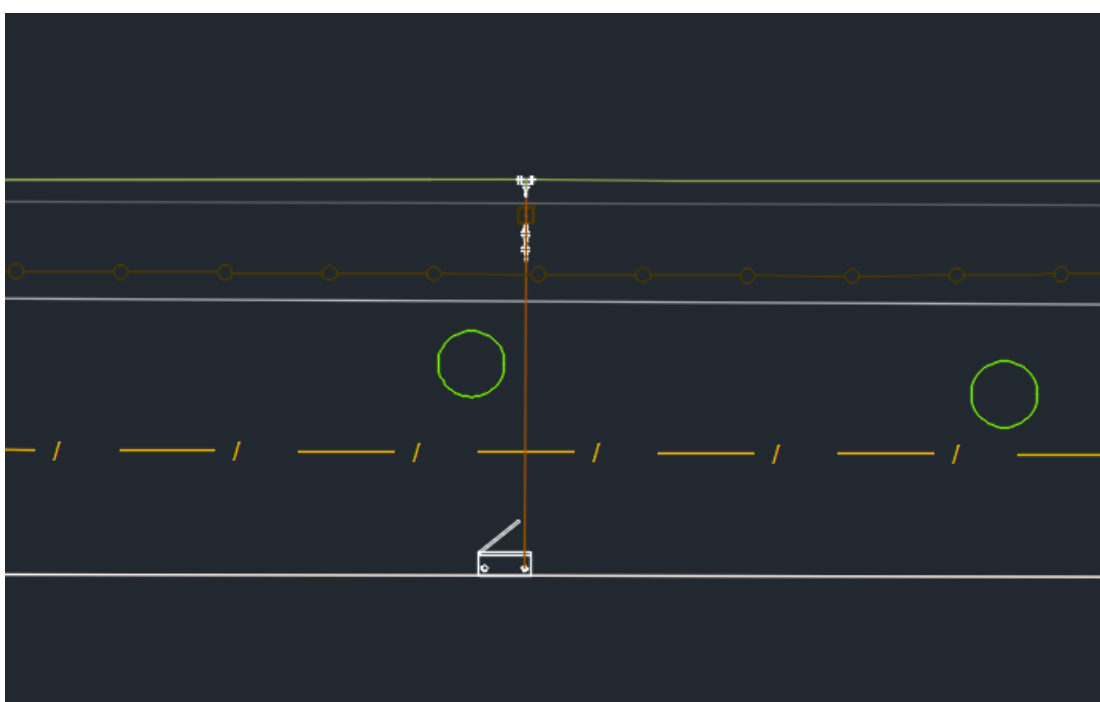
Figura 11: Representação das interferências mapeadas no entorno da nova rede.

Rede de Água/Adutora	
Rede de Esgoto	
Rede de Águas Pluviais	
Rede Elétrica Enterrada	
Rede Telefônica	
Interferência não Identificada	

Fonte: Algás (2024).

Na imagem mostrada na Figura 12 é possível entender como é feita a construção desse cadastro técnico, utilizando as simbologias vistas anteriormente. A ilustração representa a interligação entre a rede de gás existente, de 63mm, implantada na avenida, a um ramal, com rede de 32mm, de um determinado cliente, com diferentes tipos de conexões e tubulações, mostrando também as interferências mapeadas no levantamento feito antes da execução da obra.

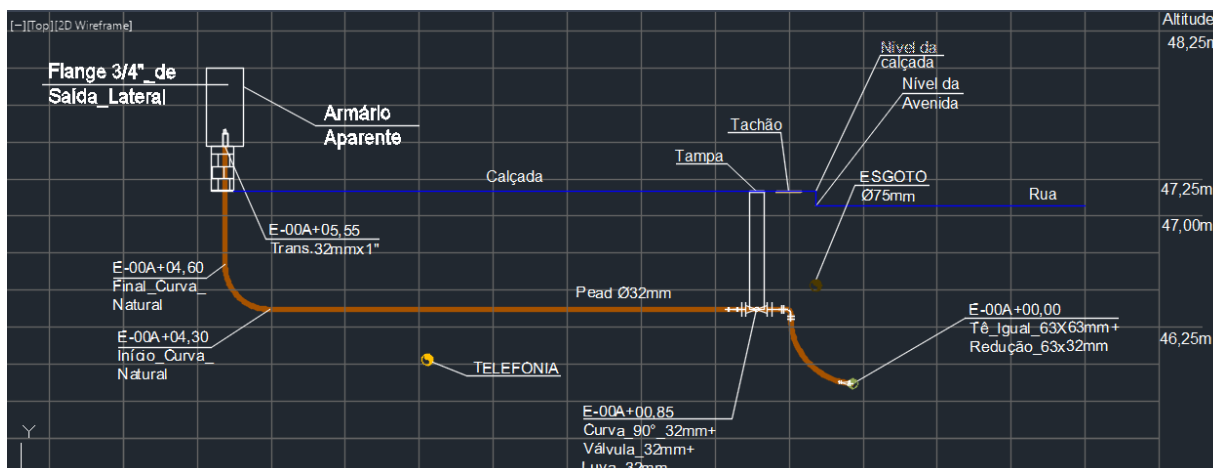
Figura 12: Ramal de cliente interligado à rede de distribuição.



Fonte: Dados fornecidos pela Algás (2024).

A informações sobre profundidades de dutos e conexões não estão presentes no cadastro técnico da Algás, porém ao realizar a implantação da rede toda obra conta com o *As Built*. Nesse documento é possível obter informações referentes ao segmento de duto, como sua profundidade e seu encaminhamento sob a superfície. Como pode ser visto na Figura 13, foi representado o perfil do ramal da figura anterior, com todas as informações referentes a alturas e profundidades, conexões e estaqueamento, dessa forma possibilitando a aquisição do dado para o cadastro na terceira dimensão.

Figura 13: Perfil da interligação do duto de distribuição de gás ao ponto de recebimento do cliente.



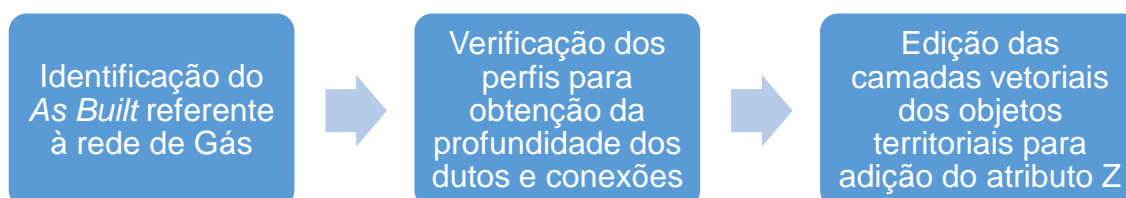
Fonte: Dados fornecidos pela Algás (2024).

5.3.2 Modelando os Dados do Cadastro no AutoCAD Civil 3D

No tópico anterior foram mostrados os atributos do cadastro técnico da concessionária de gás de Alagoas. Dessa forma, sabe-se que atualmente o cadastro de rede se encontra no formato 2D, tendo somente atributos XY. Para que seja possível uma integração com o BIM, é necessário adicionar atributos da terceira dimensão aos objetos territoriais que representam esse cadastro.

A Figura 14 mostra o fluxo de trabalho que foi seguido para a atribuição do atributo Z à rede de gás e suas conexões.

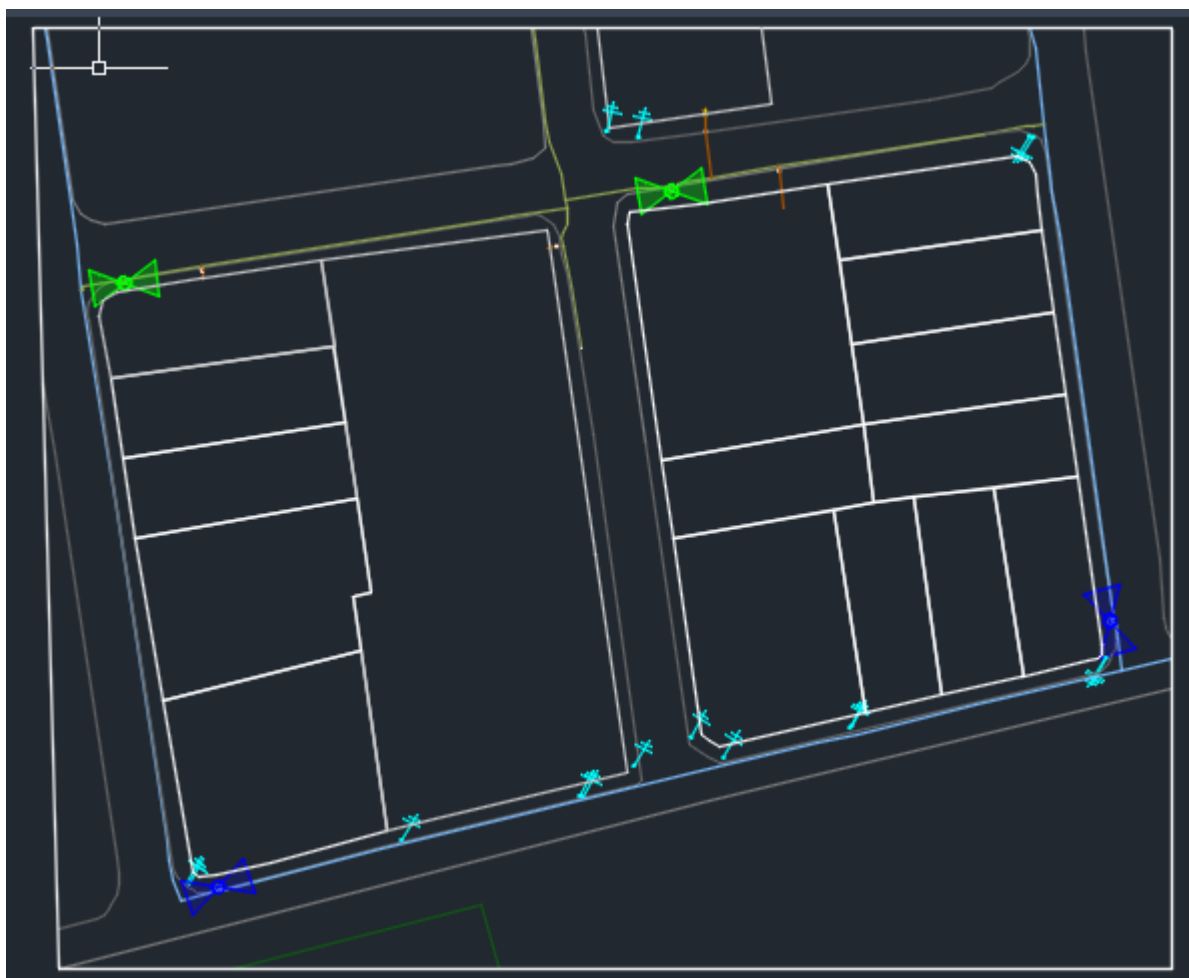
Figura 14: Fluxo utilizado para adição do componente 3D ao cadastro da rede.



Fonte: Autora (2024).

Como fonte de dados, recebemos um recorte da base cadastral da Algás, que inclui linhas de tubulação, pontos de válvula, consumidores, além do cadastro de lotes e vias. Como referido anteriormente, a base cadastral restringe-se à representação em 2D. A Figura 15 apresenta o recorte do cadastro de rede em formato CAD. Para preservar a privacidade dos consumidores, foram omitidos nomes de ruas e estabelecimentos clientes na visualização.

Figura 15: Recorte da base cadastral da rede de distribuição de gás da Algás.

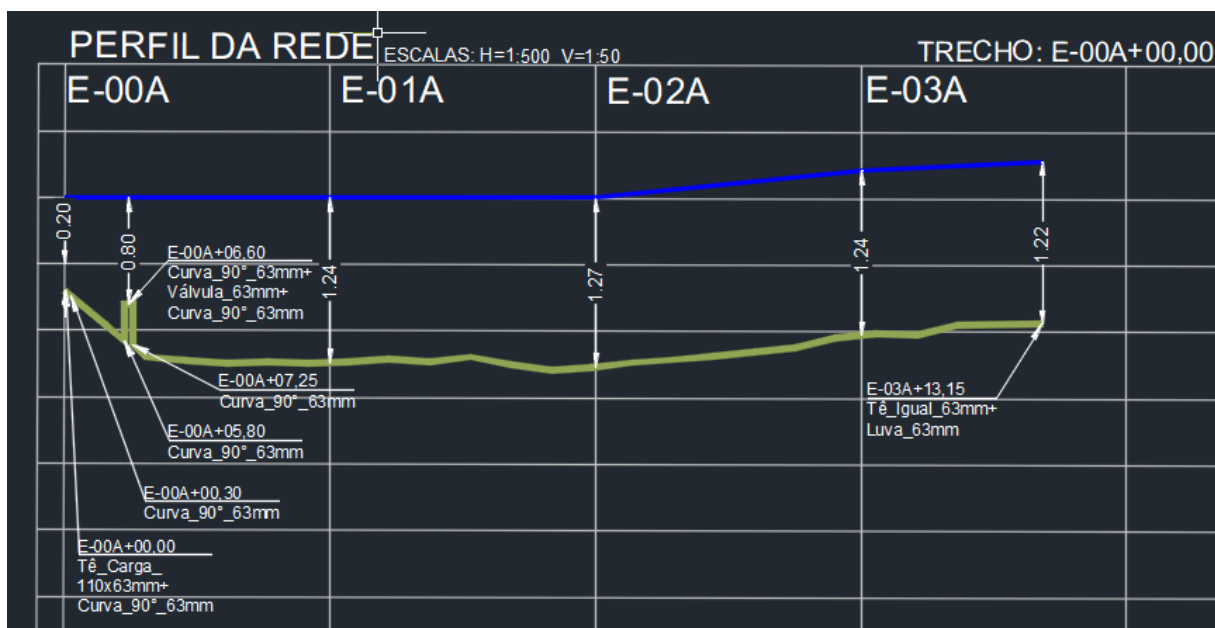


Fonte: Dados fornecidos pela Algás (2024).

Também foram disponibilizados pela empresa os DCCs referentes aos trechos destacados no recorte da base cadastral. Após a análise dos perfis de profundidade de cada rede, presentes nos DCCs, observou-se que as redes de distribuição possuem, em média, 1,20 metros de profundidade, enquanto as redes de consumidores e as válvulas de fechamento de rede apresentam 0,80 metros de

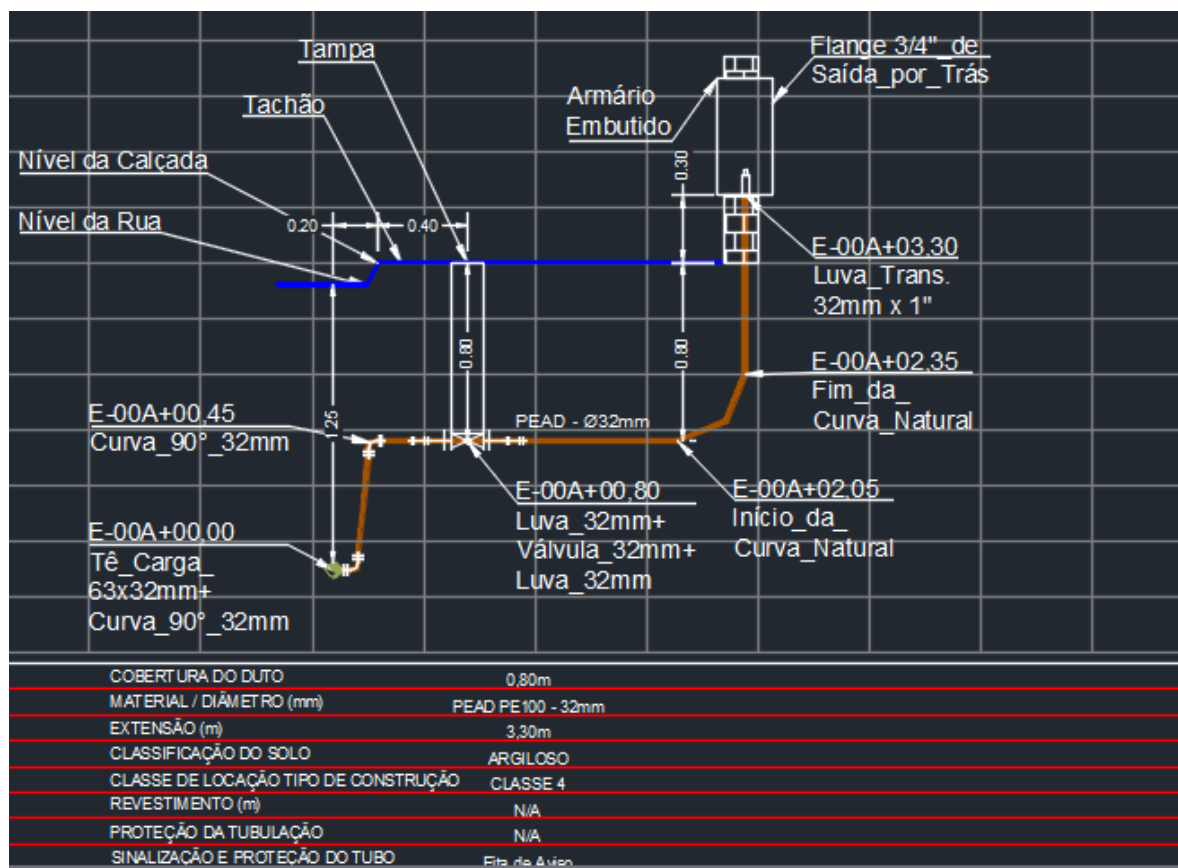
profundidade. A Figura 16 exemplifica um perfil de rede de distribuição, enquanto a Figura 17 representa um perfil de interligação entre a rede de distribuição e o ponto de consumo.

Figura 16: Exemplo de perfil da rede de distribuição de 63mm presente no recorte da base cadastral.



Fonte: Dados fornecidos pela Algás (2024).

Figura 17: Exemplo de perfil da interligação do duto de distribuição de gás ao ponto de recebimento do cliente presente no recorte da base cadastral.



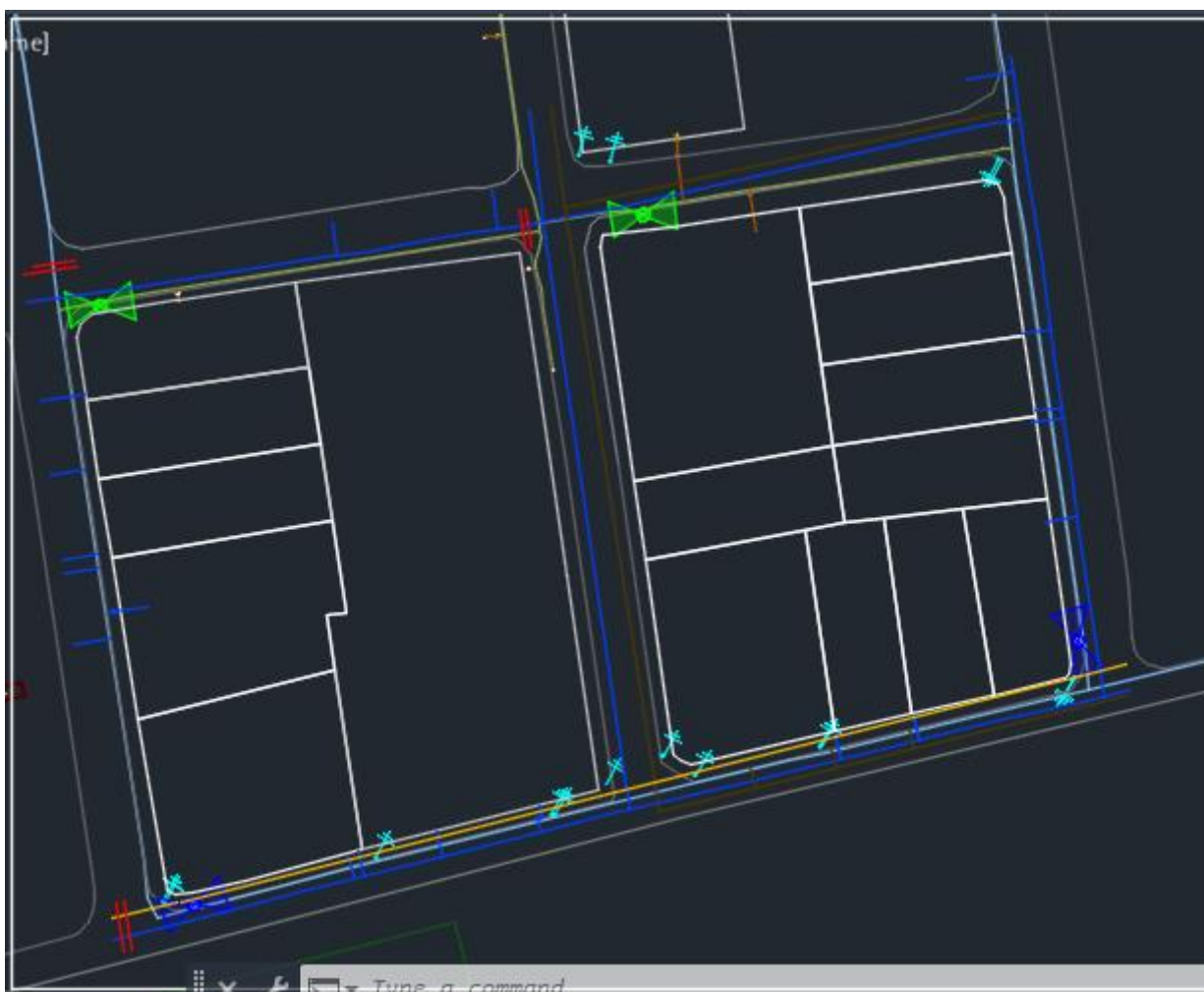
Fonte: Dados fornecidos pela Algás (2024).

Com base nessa informação, a aplicação do *AutoCAD Civil 3D* permitiu a inclusão do componente Z nas informações do cadastro de rede. Essa inclusão foi realizada considerando uma estimativa da média de profundidade observada nos DCCs, proporcionando assim a incorporação do componente 3D no cadastro técnico da Algás.

Além da profundidade fornecida pelos DCCs, foi possível identificar de maneira abrangente todos os componentes que integram a rede implantada, incluindo detalhes sobre materiais utilizados, diâmetros, extensões e a data de implantação. Essas informações revelam-se de extrema importância para o processo de modelagem BIM, enriquecendo significativamente a compreensão e representação completa da infraestrutura em questão.

Por meio de consultas aos Desenhos Conforme Construídos (DCCs), foi possível integrar as informações sobre interferências subterrâneas, como redes de água, saneamento, esgoto, eletricidade e telefonia, mapeadas pelo método GPR, ao recorte da base cadastral. Ao unir informações sobre as interferências ganhamos uma visão abrangente e mais precisa do ambiente urbano. Essa abrangência de dados possibilita uma gestão mais eficiente, identificação rápida de potenciais conflitos durante intervenções e melhor planejamento de futuros projetos, resultando em maior eficácia operacional e redução de riscos. A Figura 18 ilustra o resultado dessa integração no *AutoCAD Civil 3D*.

Figura 18: Mapeamento de interferências integrado ao recorte da base cadastral.



Fonte: Autora (2024).

Por fim, ao utilizar a base cadastral da cidade de Maceió, conseguimos integrar os polígonos que representam as edificações ao cadastro da Algás. Isso enriqueceu significativamente as informações no cadastro da rede, tornando mais fácil a identificação da localização dos ramais de recebimento de gás.

5.3.3 Utilização do ArcGIS Pro para a Integração SIG-BIM

A integração do BIM (Building Information Modeling) ao ArcGIS para dutos subterrâneos é um processo que envolve a combinação de informações detalhadas do modelo BIM com as capacidades de análise e visualização espacial do ArcGIS, a fim de facilitar a gestão e análise desses elementos de infraestrutura. Essa integração é relevante para o setor de engenharia civil e construção, pois permite uma compreensão abrangente e precisa dos sistemas de dutos subterrâneos, melhorando a tomada de decisões e a eficiência operacional.

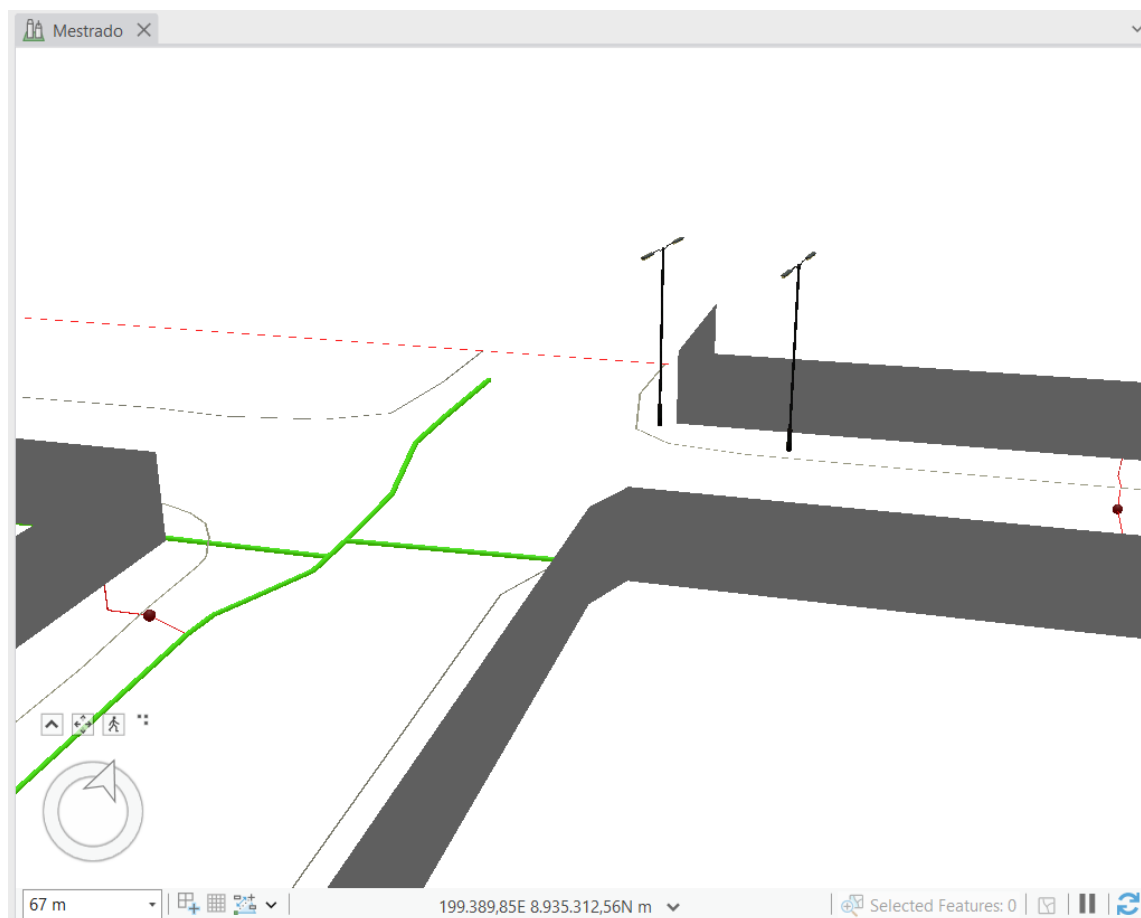
Essa integração de dados tem evoluído nos últimos anos, especialmente desde a parceria estabelecida entre Autodesk e Esri em 2017. Ao longo desse período, ambas as empresas têm dedicado esforços para aprimorar as conexões e simplificar os fluxos de trabalho envolvendo dados espaciais de informação geográfica, assim como modelos CAD e BIM 3D. Como resultado desses avanços, diversas integrações entre Esri e Autodesk foram estabelecidas. Por exemplo, um engenheiro ou designer que utiliza o *Autodesk Civil 3D* pode criar modelos e projetos. Posteriormente, ao serem hospedados no ambiente Cloud da Autodesk, torna-se possível estabelecer conexões e acessar facilmente esse conteúdo no *ArcGIS Pro*. Na Figura 19 é possível observar como se dá essa conexão entre nuvens. (JUREMA, 2021).

Figura 19: Possibilidades de conexões entre os ambientes Cloud e desktop da Esri e Autodesk



Fonte: Jurema (2021).

O primeiro passo na integração do BIM ao ArcGIS para dutos subterrâneos é a importação dos dados do modelo BIM para o ambiente do ArcGIS. Essa importação pode ser realizada por meio do formato de arquivo IFC (*Industry Foundation Classes*) ou formato CAD, comumente utilizado na troca de informações em projetos BIM. Neste caso, a integração ocorreu por meio de um arquivo em formato CAD sendo importado no software *ArcGIS Pro 3.1* como uma cena, onde foi possível modelar as camadas para visualização em 3D que mais se assemelha com a realidade (Figura 20).

Figura 20: Modelagem BIM vista no Software *ArcGIS Pro 3.1*.

Fonte: Autora (2024).

Além disso, é necessário associar atributos adicionais aos dutos subterrâneos no *ArcGIS*. Esses atributos podem incluir informações como tipo de material, diâmetro, profundidade, data de instalação, entre outros dados relevantes para a gestão e manutenção dos dutos. A associação de atributos permite uma compreensão mais completa dos dutos subterrâneos e facilita a realização de análises posteriores.

Com os dados do modelo BIM integrados ao *ArcGIS*, é possível utilizar as poderosas ferramentas de visualização e análise espacial do *ArcGIS* para realizar análises específicas dos dutos subterrâneos. Isso inclui a criação de mapas temáticos para visualizar diferentes aspectos dos dutos, como fluxo, pressão ou condição estrutural, e a realização de análises de sobreposição com outros dados espaciais, como localização de edifícios, ruas ou redes de utilidades.

A simbologia da cena 3D foi ajustada para refletir uma semelhança mais próxima com o ambiente físico, optando por cores que coincidem com o cadastro pré-

existente da Algás. A Figura 21 ilustra a seleção específica de símbolos escolhidos para representar os atributos presentes no cadastro.

Figura 21: Simbologia dos atributos BIM importados para o ArcGIS.



Fonte: Autora (2024).

A integração do BIM ao ArcGIS para dutos subterrâneos também permite o compartilhamento e a colaboração dos dados entre diferentes partes interessadas. Os dados podem ser publicados como serviços web no ArcGIS, permitindo que outros usuários acessem e visualizem as informações dos dutos por meio de aplicativos e interfaces personalizadas. Isso promove a colaboração e o compartilhamento de informações entre equipes de projeto, empresas e agências governamentais envolvidas na gestão dos dutos subterrâneos.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta etapa serão expostos os resultados obtidos por meio da execução dos passos metodológicos supracitados.

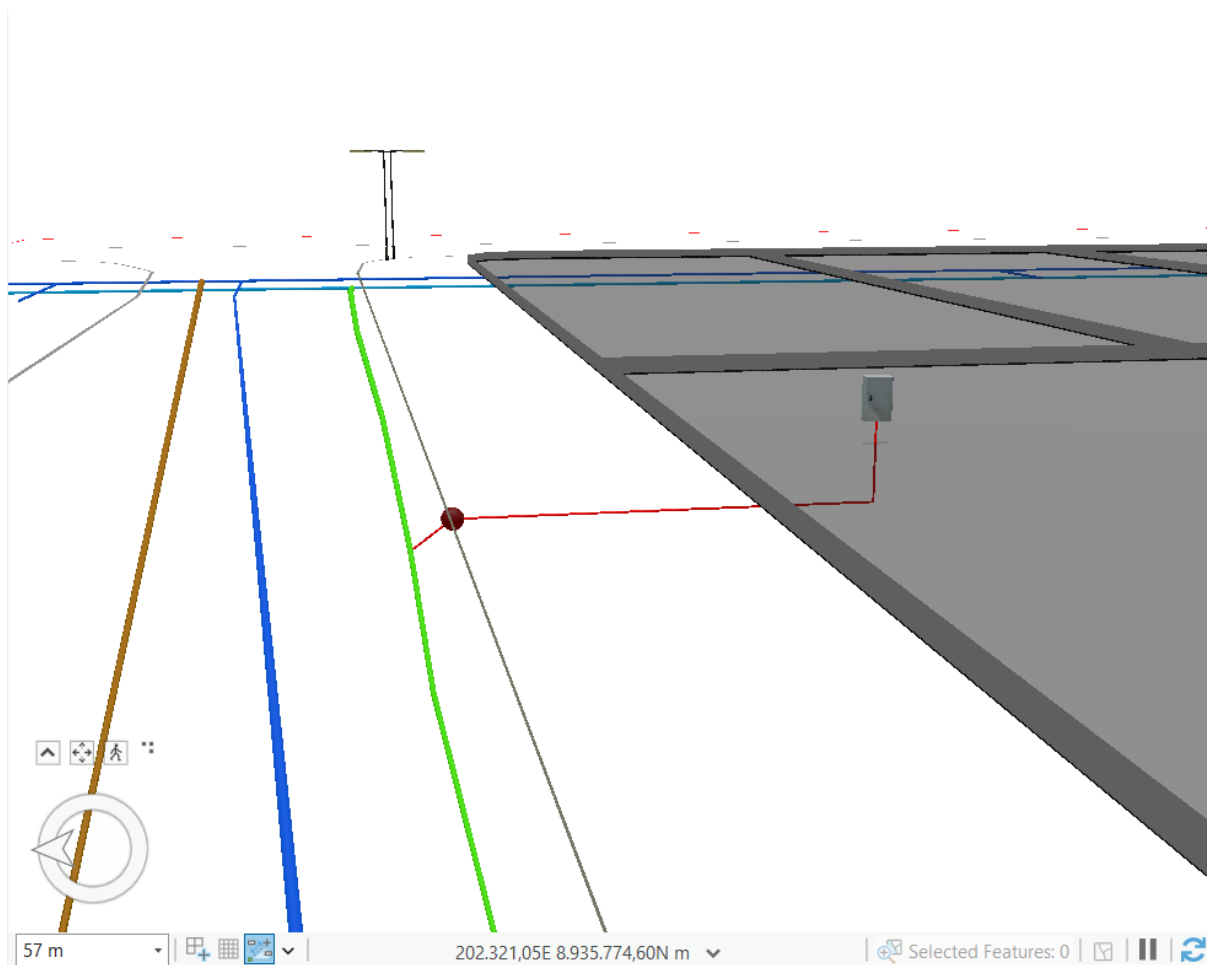
6.1 A INTEGRAÇÃO ENTRE BIM e SIG

Após concluir a modelagem dos dados no *AutoCAD Civil 3D*, onde foram incorporadas informações de profundidade da rede de distribuição de gás, os polígonos referentes às edificações e o mapeamento de interferências de diversas redes de distribuição, os novos dados modelados foram inseridos no *ArcGIS Pro*. Essa integração permitiu a incorporação de informações no formato BIM em uma plataforma dedicada a Sistemas de Informação Geográfica.

A integração entre SIG e BIM proporciona benefícios significativos, como aprimoramento da compreensão espacial, suporte à tomada de decisões embasada, otimização na gestão de ativos, redução de conflitos e erros, além de promover a padronização e interoperabilidade entre sistemas.

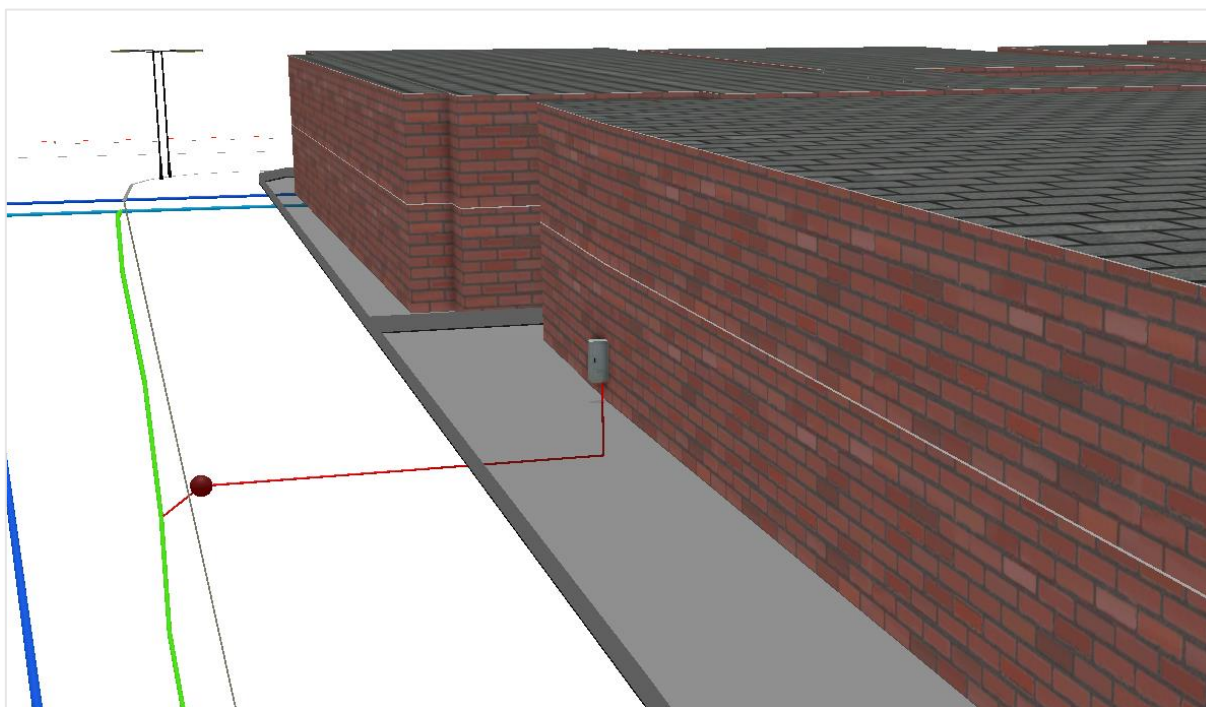
A Figura 22 ilustra o resultado parcial dessa integração no Software *ArcGIS Pro 3.1*, apresentando informações detalhadas sobre interferências de redes subterrâneas, redes de distribuição de gás, acompanhadas de uma simbologia que facilita a interpretação do cadastro.

Figura 22: Integração parcial SIG-BIM no ArcGIS Pro.



Fonte: Autora (2024).

Após a integração das edificações nos lotes dos clientes, houve uma significativa melhoria na capacidade de visualização e localização dos pontos de recebimento de gás. Essa incorporação permitiu uma representação mais precisa e contextualizada da infraestrutura de gás em relação às áreas urbanas, contribuindo para uma gestão mais eficiente e precisa da rede de distribuição. A Figura 23 ilustra essa a integração SIG-BIM em seu resultado final.

Figura 23: Integração SIG-BIM no *ArcGIS Pro*.

Fonte: Autora (2024).

Os atributos atribuídos aos dutos subterrâneos no ArcGIS, identificados nos DCCs, desempenham um papel fundamental na otimização da gestão e manutenção dessas infraestruturas. A inclusão de detalhes como o tipo de material, diâmetro, profundidade e data de instalação proporciona uma visão abrangente das características físicas e temporais dos dutos. Essas informações não apenas aprimoram a tomada de decisões, mas também são essenciais para a implementação de estratégias preventivas e corretivas. Ao associar tais atributos, os profissionais responsáveis pela administração dos dutos ganham uma ferramenta valiosa para análises mais aprofundadas, possibilitando a identificação de padrões, a antecipação de problemas potenciais. A Figura 24 mostra o exemplo dos atributos da rede de 63mm de distribuição de gás da Algás após sua edição no ArcGIS Pro.

Figura 24: Atributos da rede de 63mm de distribuição de gás da Algás.

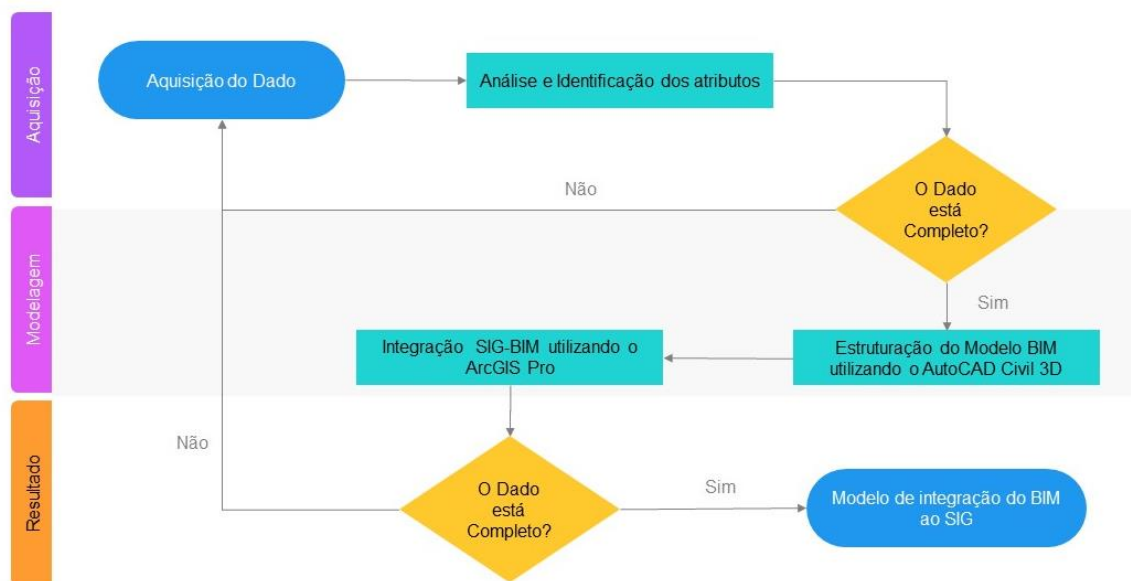
PEAD 63mm - REDE	
Município	Maceió
Bairro	Gruta de Lourdes
Contrato	xxxxx
Empresa responsável pela Implantação	Empresa X
Tipo de Projeto	PE
Num Projeto	019
Fiscal	Fiscal 1
Data de Implantação	19/06/2019
Material da Rede	PEAD
Diâmetro do Duto	63 mm
Profundidade da Rede	1,2 m
Extensão da Rede	10 m
Estaca Inicial	E-00A
Estaca Final	E-00A+10
Sinalizacao do tubo	Fita de Aviso
Classificação do solo	Argiloso
Classe de Locação Tipo de Construção	Classe 4
Proteção da Tubulação	Proteção Mecânica

Fonte: Autora (2024).

A informação da estaca inicial e final em cada trecho dos dutos subterrâneos no ArcGIS oferece vantagens significativas para a gestão e manutenção eficaz dessas infraestruturas. Esses dados estabelecem uma referência clara e padronizada que facilita a correlação entre informações geoespaciais e registros físicos ou digitais associados aos dutos. Isso permite aos profissionais operacionais realizarem análises mais precisas e eficientes, promovendo uma coordenação entre os dados geográficos e os registros documentais.

Com a conclusão da modelagem, foi possível criar um fluxo de etapas para a integração entre SIG e BIM, representado por um fluxograma. Na Figura 25, é possível visualizar o fluxograma resultante do desenvolvimento do projeto, que ilustra como os dados e informações são integrados e fluem entre os sistemas SIG e BIM.

Figura 25: Etapas para a integração SIG-BIM.



Fonte: Autora (2024).

O processo inicia-se com a aquisição dos dados necessários sobre as redes de infraestrutura subterrânea, seguida pela análise e identificação dos atributos fornecidos. Em seguida, verifica-se a completude dos dados, e se necessário, retorna-se à etapa de aquisição para preencher eventuais lacunas. Com os dados completos, procede-se à estruturação do modelo BIM utilizando o AutoCAD Civil 3D. Após a criação do modelo BIM, os dados são integrados no ArcGIS Pro, possibilitando o uso de ferramentas avançadas de visualização e análise espacial. Uma vez integrada, realiza-se uma última verificação para assegurar que todos os dados estejam completos e corretamente integrados. Finalmente, obtém-se o modelo de integração entre BIM e SIG, que serve como uma ferramenta poderosa para a gestão de infraestruturas subterrâneas, facilitando análises complexas e o planejamento urbano.

O desenvolvimento do fluxograma representa uma etapa essencial na articulação e demonstração do processo de integração entre SIG e BIM. Este fluxo visual não apenas oferece uma representação gráfica clara do processo de integração, mas também atua como um elemento metodológico e analítico fundamental na pesquisa. Ele proporciona uma compreensão dos procedimentos e interações entre os sistemas, delineando os pontos de entrada, saída e transição de dados. Sua importância reside na capacidade de elucidar as etapas do fluxo de

trabalho, identificar áreas de interconexão e estabelecer a comunicação entre os sistemas SIG e BIM. Ademais, como elemento de apoio à comunicação científica, o fluxograma serve como uma ferramenta para a disseminação eficaz dos resultados, facilitando a compreensão dos processos adotados por públicos especializados e potenciais aplicadores. Assim, além de sua utilidade prática na execução do método proposto, o fluxograma desempenha um papel crítico na validação e na transmissão do conhecimento científico gerado pela pesquisa, contribuindo para sua relevância e impacto no campo acadêmico e profissional.

7 CONCLUSÕES

O estudo para caracterização do estado da arte de pesquisas relacionadas ao tema indica que a proposta está alinhada com os desenvolvimentos mais recentes que visam a estruturação de sistemas de informações integrados voltados para o controle do uso e ocupação do solo, acima e abaixo da superfície. A pesquisa mostrou ainda que, até o presente momento, são poucos os trabalhos desenvolvidos no Brasil com este objetivo, o que comprova a sua relevância.

Para testar a viabilidade e utilidade da integração de Sistemas de Informações Geográficas - SIG e BIM – *Building Information Model* nos cadastros técnicos de redes subterrâneas de gás, foi utilizado o método *Design Research*, que orienta a concepção e validação de sistemas inovadores, seja por meio da criação, recombinação ou adaptação de produtos, processos, softwares ou métodos, com o intuito de aprimorar as situações existentes.

No Quadro 04, apresentam-se os passos seguidos na metodologia *Design Research*, assim como as conclusões alcançadas após a obtenção do resultado final. Este quadro destaca os procedimentos adotados ao longo do processo de pesquisa e resume as descobertas fundamentais que emergiram ao término do estudo.

Quadro 04: Conclusão dos passos de condução da metodologia *Design Science Research*.

Passo	Descrição	Resultado
Design como Artefato	A pesquisa fundamentada em Design Science deve produzir um artefato viável, na forma de um constructo, modelo, método e/ou uma instanciação.	O artefato produzido pela pesquisa foi um método para a integração de dados em sistemas SIG/BIM para o cadastro técnico de redes subterrâneas de distribuição de gás.
Relevância do Problema	O objetivo da pesquisa fundamentada em Design Science é desenvolver soluções baseadas em tecnologia para problemas gerenciais importantes e relevantes.	A falta de um cadastro adequado das redes de infraestruturas subterrâneas é uma causa primária de danos durante obras, reparos ou escavações, resultando em adversidades no planejamento de obras. A pesquisa propôs a integração de tecnologias para desenvolver um sistema mais confiável e acessível de coleta de dados.

Avaliação do Design	A utilidade, qualidade e eficácia do artefato devem ser, rigorosamente, demonstradas por meio de métodos de avaliação bem executados.	Durante o desenvolvimento da pesquisa, buscou-se a interação com o especialista da Algás para validação do método e realização dos ajustes propostos.
Contribuições do Design	Uma pesquisa fundamentada em Design Science deve prover contribuições claras e verificáveis nas áreas específicas dos artefatos desenvolvidos, e apresentar fundamentação clara em fundamentos de design e/ou metodologias de design.	Para atender a este requisito, buscou-se apresentar uma proposta de metodologia clara e replicável a outras aplicações, com o objetivo de permitir o seu aprimoramento contínuo. O detalhamento do uso das ferramentas neste método é crucial para aumentar a transparência, replicabilidade e verificabilidade da pesquisa.
Rigor da Pesquisa	A pesquisa em Design Science é baseada em uma aplicação de métodos rigorosos, tanto na construção como na avaliação dos artefatos.	Os métodos e ferramentas computacionais utilizados foram baseados nas referências científicas consultadas, e a avaliação dos resultados foi realizada a partir da consulta e interação com especialista da área.
Design como um Processo de Pesquisa	A busca por um artefato eficaz e efetivo exige a utilização de meios que sejam disponíveis, para alcançar os fins desejados, ao mesmo tempo que satisfaz as leis que regem o ambiente em que o problema está sendo estudado.	O artefato foi produzido com base no diagnóstico do sistema utilizado pela empresa e as ferramentas computacionais foram escolhidas de acordo com a disponibilidade e possibilidades de aplicação.
Comunicação da Pesquisa	A pesquisa em Design Science deve ser apresentada tanto para o público mais orientado à tecnologia quanto para aquele mais orientado à gestão.	A dissertação é o primeiro produto para a comunicação da pesquisa, mas planeja-se a publicação de artigo científico e de divulgação científica, mais voltado para possíveis usuários.

Fonte: Autora (2024).

Em conclusão, esta dissertação teve como objetivo analisar a possibilidade de integração da modelagem física de projetos de redes subterrâneas ao cadastro técnico de uma empresa de distribuição de gás, com um foco específico no estudo de caso da Algás-AL. A tese defendida foi a de que o detalhamento em 3D facilita a gestão das redes subterrâneas, minimizando impactos em novas obras e

manutenções. Ao longo deste trabalho, exploramos os principais argumentos de integração, gestão, visualização e centralização de dados em um único local.

Os resultados da pesquisa demonstraram a viabilidade e a eficácia de um modelo de integração SIG-BIM, utilizando objetos territoriais na terceira dimensão. Esta abordagem permitiu uma representação mais precisa e detalhada das redes subterrâneas, fornecendo uma base sólida para a gestão eficiente desses ativos.

As implicações da pesquisa são significativas, uma vez que se concentram na importância dos objetos territoriais subterrâneos e na integração de dados para uma gestão mais eficaz. Além disso, destaca-se a necessidade de que os projetos sejam elaborados no modelo BIM desde o princípio, garantindo o acompanhamento de todo o ciclo de vida das redes até o cadastro final.

Como recomendações para futuros desenvolvimentos, sugere-se que a pesquisa expanda sua abrangência para além do estudo de caso específico da Algás-AL, explorando outros contextos e organizações para validar a aplicabilidade e eficácia da integração SIG-BIM em cadastros técnicos de redes subterrâneas. Outra sugestão seria explorar técnicas de visualização avançadas e interfaces de usuário intuitivas para melhorar a usabilidade e acessibilidade do sistema desenvolvido. Por fim, incentiva-se a disseminação dos resultados por meio de publicações em revistas científicas e eventos da área, visando compartilhar as descobertas com a comunidade acadêmica e profissional, e estimular a adoção dessas soluções inovadoras. Essas direções futuras podem contribuir significativamente para o avanço do conhecimento e práticas relacionadas à gestão de infraestruturas subterrâneas, fornecendo soluções mais eficazes e sustentáveis para os desafios enfrentados no campo.

REFERÊNCIAS

ALGÁS. **ALGÁS gás de Alagoas S.A.**, 2022. A Algás. Disponível em: <https://algas.com.br/a-algas/>. Acesso em: 02 jun. 2022.

ALGÁS. **ALGÁS gás de Alagoas S.A.**, 2022. Normas e Especificações Técnicas. Disponível em: <https://algas.com.br/a-algas/>. Acesso em: 27 mai. 2022.

ALGÁS. **ALGÁS gás de Alagoas S.A.**, 2022. Regiões Atendidas. Disponível em: <https://algas.com.br/a-algas/>. Acesso em: 05 mai. 2022.

ANTONIO, Nathan Damas; ANTUNES, Alzir Felipe B. Uma Abordagem Metodológica para Representar Objetos Territoriais 3D. **Revista Brasileira de Cartografia**, [S. l.], n. 68/8, p. 1467-1484, 10 maio 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 12712**: Projeto de sistemas de transmissão e distribuição de gás combustível. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14461**: Sistemas para distribuição de gás combustível para redes enterradas - Tubos e conexões de polietileno PE 80 e PE 100 - Instalação em obra por método destrutivo (vala a céu aberto). Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14462**: Sistemas para distribuição de gás combustível para redes enterradas - Tubos de polietileno PE 80 e PE 100 - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14463**: Sistemas para distribuição de gás combustível para redes enterradas - Conexões de polietileno PE 80 e PE 100 - Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14465**: Sistemas para distribuição de gás combustível para redes enterradas - Tubos e conexões de polietileno PE 80 e PE 100 - Execução de solda por eletrofusão. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14466**: Tubos de polietileno PE 80 e PE 100 - Verificação da resistência após envelhecimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14471:** Conexões de polietileno PE 80 e PE 100 - Determinação do fator de perda de carga em tês de serviço. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14473:** Tubos e conexões de polietileno PE 80 e PE 100 - Reparo ou acoplamento de novo trecho à rede em carga, com utilização do processo de esmagamento (pinçamento). Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15280-2:** Dutos terrestres - Parte 2: Construção e montagem. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17047:** Levantamento Cadastral Territorial para Registro Público: Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sobre a ABNT**, 2022. Disponível em: <https://www.abnt.org.br/institucional/sobre>. Acesso em: 27, mai. 2022.

ATAZADEH, Behnam. **Building Information Modelling for Urban Land Administration**. 2017. 316 f. Tese (Doutorado em Filosofia) - Universidade de Melbourne, Melbourne, 2017.

ATAZADEH, Behnam; RAJABIFARD, Abbas; KALANTARI, Mohsen. Connecting LADM and IFC Standards – Pathways towards an Integrated Legal-Physical Model. **7 th International FIG Workshop on the Land Administration Domain Model**, Croácia, p. 89-102, 2018. 7 th International FIG Workshop on the Land Administration Domain Model 12-13 April 2018, Zagreb, Croatia.

AYDIN, Cevdet. Usage of Underground Space for 3D Cadastre Purposes and Related Problems in Turkey. **Sensors**, [S.L.], v. 8, n. 11, p. 6972-6983, 5 nov. 2008. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/s8116972>.

BABALOLA, S. O.; RAHMAN, A. Abdul; CHOON, L. T.; VAN OOSTEROM, P. J. M.. POSSIBILITIES OF LAND ADMINISTRATION DOMAIN MODEL (LADM) IMPLEMENTATION IN NIGERIA. **Isprs Annals Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences**, [S.L.], v. -2/2, p. 155-163, 19 out. 2015. [Http://dx.doi.org/10.5194/isprsannals-ii-2-w2-155-2015](http://dx.doi.org/10.5194/isprsannals-ii-2-w2-155-2015).

BALOGUN, Abdul-Lateef; MATORI, Abdul-Nasir; LAWAL, Dano Umar. Geovisualization of Sub-surface Pipelines: a 3d approach. **Modern Applied Science**, [S.L.], v. 5, n. 4, p. 158-165, 3 ago. 2011. Canadian Center of Science and Education. <http://dx.doi.org/10.5539/mas.v5n4p158>.

BECKER, T., NAGEL, C., KOLBE, T. H., 2011. Integrated 3D Modeling of Multi-utility Networks and Their Interdependencies for Critical Infrastructure Analysis, In: **Advances in 3D Geoinformation Sciences**. Kolbe, T. H., König, G., Nagel, C. (eds), Springer Berlin, pp. 1-20.

BECKER, Thomas; NAGEL, Claus; KOLBE, Thomas H. Semantic 3D Modeling of Multi-Utility Networks in Cities for Analysis and 3D Visualization. In: Pouliot J., Daniel S., Hubert F., Zamyadi A. (eds) Progress and New Trends in 3D Geoinformation Sciences. **Lecture Notes In Geoinformation And Cartography**, [S.L.], p. 41-62, out. 2012. Springer, Berlin, Heidelberg. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-29793-9_3.

BRASIL. Governo do Brasil. **Novo Marco de Saneamento é sancionado e garante avanços para o País**. Jun. 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/transito-e-transportes/2020/07/novo-marco-de-saneamento-e-sancionado-e-garante-avancos-para-o-pais>. Acesso em: 24 set. 2020.

BRASIL. **Lei nº 14.133, de 01 de abril de 2021**. Lei de Licitações e Contratos Administrativos. Brasília, DF, 2021. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2021/lei/L14133.htm. Acesso em: 29 abr. 2022.

BREUNIG, Martin *et al.* Collaborative Multi-scale 3D City and Infrastructure Modeling and Simulation. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII4/W4, **Tehran's Joint ISPRS Conferences of GI Research, SMPR and EOEC**, Tehran, Iran, Oct. 2017.

CARNEIRO, Andrea Flávia T.; ERBA, Diego Alfonso; AUGUSTO, Eduardo A. A. Cadastro Multifinalitário 3D: Conceitos e Perspectiva de Implantação no Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, Brasil, v. 64, n. 2, p. 257-271, abr. 2012.

DÖNER, Fatih; THOMPSON, Rod; STOTER, Jantien; LEMMEN, Christiaan; PLOEGER, Hendrik; VAN OOSTEROM, Peter; ZLATANOVA, Sisi. Solutions for 4D cadastre – with a case study on utility networks. **International Journal Of Geographical Information Science**, [S.L.], v. 25, n. 7, p. 1173-1189, jul. 2011. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/13658816.2010.520272>.

FRANÇA, R.M., ARAÚJO, A.L., BOSCATTO, F., CABRAL, C.R., COLLISCHONN, C. Parcelas e Objetos Territoriais: Uma Proposta para o Sinter. Anais do COBRAC 2018 – 13º. Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário e Gestão Territorial. Florianópolis, 2018.

GUEDES, Gunar Henrique; RIBEIRO, Kairo Fellipe. S.; CARMO, Tânia do; MAGALHÃES JÚNIOR, Carlos Alberto de O. Redes de infraestruturas urbanas e suas relações com os componentes técnicos, sociais e ambientais. **Revista Valore**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 2, p. 329-340, nov. 2017.

HAJJI, Rafika; YAAGOUBI, Reda; MELIANA, Imane; LAAFOU, Imane; GHOLABZOURI, Ahmed El. Development of an Integrated BIM-3D GIS Approach for 3D Cadastre in Morocco. **Isprs International Journal Of Geo-Information**, [S.L.], v. 10, n. 5, p. 351, 20 maio 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijgi10050351>.

IBGE. Indicador 6.2.1 - Proporção da População que Utiliza Serviços de Saneamento Gerenciados de Forma Segura e Instalações para Lavagem das Mãos com Água e Sabão. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável Brasil**. 2018. Disponível em: <https://odsbrasil.gov.br/Objetivo6/Indicador621>. Acesso em: 20 set. 2020.

ISIKDAG, Umit. Building Information Models: an introduction. **Enhanced Building Information Models**, [S.L.], p. 1-12, 2015. Springer International Publishing. http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-21825-0_1.

JUREMA, Maria Carolina. **O que há de novo para CAD e BIM no ArcGIS**. Disponível em: <<https://blog.img.com.br/arcgis/o-que-ha-de-novo-para-cad-e-bim-no-arcgis/>>. Acesso em: 25 nov. 2023.

KALOGIANNI, E.; DIMOPOULOU, Efi; VAN OOSTEROM, P.J.M. 3D Cadastre and LADM - Needs and Expectations towards LADM Revision. In: 7th Land Administration Domain Model Workshop, 7, 2018, Zagreb, Croatia. **Proceedings [...]** Zagreb: FIG, 2018.

KARABIN, Marcin *et al.* Feasibility study of 3D cadastre implementation using various data sources – the case of Warsaw subway. **Geodetski Vestnik**, [S.L.], v. 62, n. 03, p. 445-457, 2018. University of Ljubljana. <http://dx.doi.org/10.15292/geodetski-vestnik.2018.03.445-457>.

KITSAKIS, D.; KALANTARI M.; RAJABIFARD, A.; ATAZADEH, B.; DIMOPOULOU, E. (2019) Exploring the 3rd dimension within Public Law Restrictions: A case study of Victoria, Australia, **Land Use Policy Journal**, v. 85, p. 195-206, 2019.

LACERDA, Daniel P. *et al.* Instruções para condução da Design Science Research: instruções para condução da Design Science Research.. **Gest. Prod.**, São Carlos, v. 20, n. 4, p. 741-761, 5 ago. 2013.

LIU, Alyssa Huaqiu; ELLUL, Claire; SWIDERSKA, Monika. Decision Making in the 4th Dimension—Exploring Use Cases and Technical Options for the Integration of 4D BIM and GIS during Construction. **Isprs International Journal Of Geo-Information**, [S.L.], v. 10, n. 4, p. 203, 29 mar. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/ijgi10040203>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2220-9964/10/4/203/htm>. Acesso em: 25 mai. 2022.

LÜ, Guonian; BATTY, Michael; STROBL, Josef; LIN, Hui; ZHU, A-Xing; CHEN, Min. Reflections and speculations on the progress in Geographic Information Systems (GIS): a geographic perspective. **International Journal Of Geographical Information Science**, [S.L.], v. 33, n. 2, p. 346-367, 19 out. 2018. Informa UK Limited. <http://dx.doi.org/10.1080/13658816.2018.1533136>.

MASTELLA, André; FERREIRA, Bárbara; OLIVEIRA, Francisco Henrique. Potencial integração entre as bases de dados da CASAN e CELESC utilizando BIM, face ao cadastro 3D, CIM, INDE e políticas de transparência. *In: COBRAC*, 2018, Florianópolis. **Anais do COBRAC 2018**, Florianópolis.

MAZROOB SEMNANI, N. *et al.* Towards an Intelligent Platform for Big 3D Geospatial Data Management. ISPRS - Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume IV4, **ISPRS TC IV Mid-term Symposium “3D Spatial Information Science – The Engine of Change”**, Delft, The Netherlands, Oct. 2018.

MESCHINI, Silvia; ACCARDO, Daniele; AVENA, Marco; SEGHEZZI, Elena; TAGLIABUE, Lavinia Chiara; GIUDA, Giuseppe Martino di. Data integration through a bim-gis web platform for the management of diffused university assets. **Proceedings Of The 2022 European Conference On Computing In Construction**, [S.L.], p. 1-8, 24 jul. 2022. University of Turin. <http://dx.doi.org/10.35490/ec3.2022.217>.

MICKRENSKA-CHERNEVA, Christina; MLADENOV, Radoslav. Implementation of GIS Application for Water Company Needs. **Geomatics And Environmental Engineering**, [S.L.], v. 14, n. 4, p. 47-56, 19 nov. 2020. AGHU University of Science and Technology Press. <http://dx.doi.org/10.7494/geom.2020.14.4.47>.

MORENO VÁRQUEZ, Rigoberto A.; ERBA, Diedo. Propuesta de Estructuración de un Catastro 3D para Redes Eléctricas Aéreas en México. *In: COBRAC*, 2018, Florianópolis. **Anais do COBRAC 2018**, Florianópolis.

PAASCH, Jesper; PAULSSON, Jenny. New Trends in 3D Cadastre Research - a Literature Survey. *In: 7th International FIG 3D Cadastre Workshop*, 7, 2021, Nova Iorque. **Conference proceedings** [...] Nova Iorque: 2021.

POULIOT, Jacynthe; GIRARD, Philippe. **3D Cadastre: With or Without Subsurface Utility Network?** 5th International FIG 3D Cadastre Workshop, Greece, Oct. 2016.

POULIOT, Jacynthe; GIRARD, Philippe. **Subsurface Utility Network Registration and the Publication of Real Rights: Pending for a Full 3D Cadastre**. FIG Working Week - Recovery from Disaster Christchurch, New Zealand, May. 2016.

RAJABIFARD, Abbas *et al.* **3D Property Ownership Map**: For smart urban land administration. 2020. Centre for Spatial Data Infrastructures and Land Administration, Melbourne School of Engineering. Disponível em: <https://csdila.unimelb.edu.au/projects/3d-map-base/>. Acesso em: 23 set. 2020

RAJABIFARD, Abbas; ATAZADEH, Behnam; KALANTARI, Mohsen. A Critical Evaluation of 3D Spatial Information Models for Managing Legal Arrangements in Multi-Owned Developments in Victoria. **International Journal of Geographical Information Science**. Australia, Jun. 2018. <https://doi.org/10.1080/13658816.2018.1484125>

RASHIDAN, Hanis; ABDUL RAHMAN, Alias; SANI, Mohammed J. Converting BIM Data to CityGML for 3D Cadastre Purposes. In: 7th International FIG Workshop on 3D Cadastres, 7, 2021, Nova Iorque. **Conference Proceedings [...]** Nova Iorque: FIG, 2021.

SANTOS, José Gabriel V. **Uma Abordagem *Fit-For-Purpose* para o aprimoramento do Cadastro Técnico da COMPESA**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2022.

SANTOS, Júlio Cesar dos. **CIDADE SABIDA: Uma proposta de integração de dados urbanos utilizando CIM-DL**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano, 2022.

SANTOS, Juciela Cristina dos; FARIAS, Edla Siqueira de; CARNEIRO, Andrea Flávia Tenório. Análise da parcela como unidade territorial do cadastro urbano brasileiro. **Boletim de Ciências Geodésicas**, [S.L.], v. 19, n. 4, p. 574-587, dez. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1982-21702013000400004>.

SILVA, Wedja de O. **Proposta de um Modelo de Cadastro de Redes de Abastecimento D'água, de Acordo com a ISO/FDIS 19.152**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 2017.

SILVA, Wedja de O.; PURIFICAÇÃO, Nathalia Rose S. da; CARNEIRO, Andrea Flávia T. Cadastro de Redes de Infraestrutura: Mapas 2D e Visualização 3D. In: COBRAC, 2018, Florianópolis. **Anais do COBRAC 2018**, Florianópolis.

SOULÉ, Pedro Veríssimo; BUENO, Cristiane. Integração de ferramentas BIM e SIG para gestão e manutenção de infraestrutura urbana. **Engenharia Urbana em Debate**, [S. l.], v. 2, n. 1, p. 24-35, 21 dez. 2021.

VAN OOSTEROM, P. **Survey of Israel Three-Dimensional Cadastre and the ISO 19152 - The Land Administration Domain Model**. Report 1 (updated version). Delft University of Technology, Mar. 2014.

WANG, Hao; PAN, Yisha; LUO, Xiaochun. Integration of BIM and GIS in sustainable built environment: a review and bibliometric analysis. **Automation In Construction**, [S.L.], v. 103, p. 41-52, jul. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.005>.

XU, Zhen; QI, Mingzhu; WU, Yingying; HAO, Xintian; YANG, Yajun. City Information Modeling: state of the art. **Applied Sciences**, [S.L.], v. 11, n. 19, p. 9333, 8 out. 2021. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/app11199333>.

ZHU, Junxiang; WANG, Xiangyu; WANG, Peng; WU, Zhiyou; KIM, Mi Jeong. Integration of BIM and GIS: geometry from ifc to shapefile using open-source technology. **Automation In Construction**, [S.L.], v. 102, p. 105-119, jun. 2019. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.014>.

ZULKIFLI, N. A.; RAHMAN, A. A.; VAN OOSTEROM, P.. AN OVERVIEW OF 3D TOPOLOGY FOR LADM-BASED OBJECTS. **The International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences**, [S.L.], v. - 2/4, p. 71-73, 19 out. 2015. <Http://dx.doi.org/10.5194/isprsarchives-xl-2-w4-71-2015>.