

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**FERRAMENTAS PARA LICENCIAMENTO PARAMÉTRICO DE
PROJETOS DE EMPREENDIMENTOS HABITACIONAIS DE
INTERESSE SOCIAL**

LUCCAS ZAMBON MASELLI

São Carlos

2021

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**FERRAMENTAS PARA LICENCIAMENTO PARAMÉTRICO DE
PROJETOS DE EMPREENDIMENTOS HABITACIONAIS DE
INTERESSE SOCIAL**

LUCCAS ZAMBON MASELLI

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Urbana.

Orientação: Prof. Dr. Érico Masiero

São Carlos

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Luccas Zambon Maselli, realizada em 16/04/2021.

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Érico Masiero (UFSCar)

Profa. Dra. Luciana Inês Gomes Miron (UFRGS)

Profa. Dra. Elza Luli Miyasaka (UFSCar)

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana.

Dedicado à Annabel Melo, que, ao me apresentar sua visão de cidade, me proporcionou o primeiro contato com discussões sobre o ambiente urbano.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, aos meus pais, Cláudia e Ricardo, e minha irmã, Giovanna, por todo suporte, carinho e motivação durante todo o período de mestrado.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Érico Masiero, devido a todo apoio, orientação e dedicação durante o desenvolvimento desta pesquisa, além de sua importância ao longo de minha formação.

Agradeço ao Prof. Dr. Rogério Galante Negri por todos os conselhos e apoio mesmo após a graduação, e pela grande parceria acadêmica que desenvolvemos.

Agradeço a todo o corpo docente do PPGEU pelos conhecimentos compartilhados, e por nos apresentar em todas as aulas um novo horizonte sobre a importância dos estudos sobre o ambiente urbano.

Agradeço ao Alex Rogério Silva, funcionário do PPGEU, por toda ajuda, disponibilidade e apoio durante o mestrado.

Agradeço também aos grandes amigos que fiz durante este período de mestrado, em especial, Bruno, Vinícius e Rafael, que tive a oportunidade de compartilhar um lar e desfrutar de bons momentos. Agradeço também aos membros da Bateria UFSCar, que se tornaram uma nova família para mim.

“E assim vamos, ponto a ponto, ligando as necessidades às costuras desse pano de concreto que chamamos de cidade.”

- Lucas Folha.

RESUMO

Normas técnicas e legislações constituem e regulam parte do processo de licenciamento de empreendimentos habitacionais. A verificação de conformidade de novos projetos imobiliários, frente aos valores legais de referência, é uma tarefa complexa. Neste sentido, a automação deste processo, utilizando recursos computacionais, possui potencial de torná-lo mais eficiente. A verificação automatizada de requisitos, implementada digitalmente, mostra-se um possível meio para auxiliar na agilidade do licenciamento de empreendimentos, assegurando eficiência, objetividade e transparência. Ainda, procedimentos públicos que englobam a participação popular mostram-se ineficazes e com baixa taxa de adesão da sociedade. Desta forma, a presente dissertação tem por objetivo o desenvolvimento de ferramentas computacionais que auxiliem na verificação dos parâmetros legais envolvidos nos procedimentos de licenciamento de empreendimentos habitacionais. As propostas são divididas em duas frentes, voltadas para a participação popular e para a verificação de requisitos em modelos geoespaciais. Para isto, foi desenvolvida uma ferramenta consultiva para a população, por meio da linguagem Python, além de um plugin para plataforma de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), onde ambas são responsáveis pela verificação paramétrica de empreendimentos habitacionais. Para fins de aplicação, a cidade de São Carlos (SP), e os parâmetros urbanísticos presentes em seu Plano Diretor, foram utilizados. A ferramenta desenvolvida para a consulta pública opera a partir da inserção de dados básicos de projeto, frequentemente encontrados em Estudos de Impacto de Vizinhança (EIV), permitindo o cálculo dos coeficientes aplicáveis ao licenciamento, e gerando um relatório estruturado de conformidades e não conformidades. A ferramenta geoespacial, por sua vez, opera a partir de dados vetoriais de projeto e de zoneamento, e calcula automaticamente os coeficientes urbanísticos aplicáveis, comparando-os com os valores de referência, onde, ao fim, também gera um relatório estruturado. A aplicação de tais ferramentas representa um avanço em campos ainda pouco eficientes e pouco explorados, como a participação popular nas tomadas de decisão, o próprio processo de licenciamento habitacional e a verificação paramétrica em plataformas SIG. A aplicação das ferramentas pode representar novos paradigmas nos modelos de planejamento urbano, uma vez que muitas operações realizadas de forma manual podem ser repensadas a partir dos conceitos computacionais. Além disso, as ferramentas podem integrar a sociedade civil aos processos de decisão sobre a cidade e permitir novas análises geoespaciais sobre o ambiente urbano.

Palavras-Chave: Verificação Automatizada de Requisitos. Empreendimentos Habitacionais. Licenciamento Habitacional. Participação Popular. Sistemas de Informações Geográficas.

ABSTRACT

Technical standards and legislation constitute and regulate part of the housing development licensing process. Checking the conformity of new real estate projects against the legal reference values is a complex task. In this sense, the automation of this process, using computational resources, has the potential to make it more efficient. The automated compliance checking, digitally implemented, is a possible way to assist in the agility of licensing of housing developments, ensuring efficiency, objectivity, and transparency. Still, public procedures that include popular participation are ineffective and have a low adhesion rate by civil society. This dissertation aims to develop computational tools that help verify the legal parameters involved in the licensing procedures for housing developments. The proposals are divided into two fronts, aimed at popular participation and verifying requirements in geospatial models. For this, a consultative tool was developed for the population, using the Python language, in addition to a plugin for Geographic Information Systems (GIS) platform, where both are responsible for the parametric verification of housing developments. For application purposes, the city of São Carlos (SP – Brazil), and the urbanistic parameters present in its Master Plan, were used. The tool developed for public consultation operates from the insertion of primary project data, frequently found in Neighborhood Impact Studies, allowing the calculation of the coefficients applicable to the licensing process and generating a structured report of conformities and non-conformities. The geospatial tool, in turn, operates from the zoning and project's vectorial data, and automatically calculates the applicable urban coefficients, comparing them with the reference values, where, in the end, it also generates a structured report. The application of such tools represents a breakthrough in fields that are still not very efficient, such as the popular participation in decision making and the housing licensing process itself, in addition to areas that have not been much explored, such as parametric verification on the GIS platform. The application of the tools can represent new paradigms in urban planning models since many operations performed manually can be rethought based on computational concepts. Also, the tools can integrate civil society into decision-making processes about the city and allow geospatial analysis based on the implementation of new housing developments.

Keywords: Automated Compliance Checking. Housing developments. Housing Licencing. Popular Participation. Geographic Information Systems.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – São Carlos e Municípios Limítrofes.	22
Figura 2 – Linha temporal das principais legislações que regulamentaram a ocupação urbana.	24
Figura 3 – Fluxograma do processo de aprovação de loteamento.....	29
Figura 4 – Elementos Básicos de um Sistema de Verificação Automatizado.....	31
Figura 5 – Fluxograma referente aos procedimentos metodológicos da presente pesquisa.	37
Figura 6 – Croqui do Empreendimento estudo de caso.....	41
Figura 7 – Contextualização espacial da Zona 2.	42
Figura 8 – Fluxograma de funcionamento do sistema de verificação paramétrica da ferramenta consultiva para a sociedade civil.	45
Figura 9 – Criação de estrutura para plugin através da ferramenta <i>Plugin Builder</i>	48
Figura 10 – <i>Qt Designer</i> e projeto padrão criado pelo <i>Plugin Builder</i>	50
Figura 11 – Fluxograma de funcionamento da verificação paramétrica da ferramenta geoespacial.....	51
Figura 12 – Tela principal do programa e de seleção de zona para checagem de parâmetros.	55
Figura 13 – Exemplo da fase de checagem de parâmetros para Zona 1.....	56
Figura 14 – Mensagens de Alerta.	57
Figura 15 – Exemplo da fase de checagem de parâmetros para Zona 6B.	59
Figura 16 – Janelas para a inserção de novas zonas.	61
Figura 17 – Mensagens de alerta para a inserção de parâmetros.....	62
Figura 18 – Preenchimento correto de parâmetros e mensagem de êxito.	62
Figura 19 – Telas destinadas à alteração de parâmetros.....	63
Figura 20 – Telas destinadas à exclusão de Zona.....	64
Figura 21 – Vetorização do Zoneamento Municipal de São Carlos.....	65
Figura 22 – Arquivos vetoriais do Empreendimento Parque dos Girassóis.	66
Figura 23 – Vetores do Empreendimento Hipotético.	67
Figura 24 – Interface Plugin Geoespacial.....	67
Figura 25 – Relatório gerado pelo Plugin para o Empreendimento Parque dos Girassóis.....	69
Figura 26 – Relatório gerado pelo Plugin para o Empreendimento Hipotético.	70

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Graus de participação pública.....	15
Quadro 2 – Resultado de buscas nas bases científicas.	20
Quadro 3 – Subsistemas e funções que compõem a ferramenta proposta por Yaakup et al. (2007).	33
Quadro 4 – Sistemas abordados e suas descrições.	36
Quadro 5 – Legislações aplicáveis ao processo de licenciamento imobiliário em São Carlos.	38
Quadro 6 – Estrutura do Banco de Dados para parâmetros do Plano Diretor.	52
Quadro 7 – Relatório de aprovação para o EHIS Parque dos Girassóis.	58
Quadro 8 – Relatório de aprovação para o EHIS Parque dos Girassóis.	60
Quadro 9 – Dados utilizados para o funcionamento da ferramenta geoespacial.	68

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Esquema de formatação da tabela de atributos para vetor de zoneamento.....	47
---	----

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

BIM	<i>Building Information Model</i>
CA	Coefficiente de Aproveitamento
CAB	Coefficiente de Aproveitamento Básico
CAM	Coefficiente de Aproveitamento Máximo
CCV	Coefficiente de Cobertura Vegetal
CEF	Caixa Econômica Federal
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CO	Coefficiente de Ocupação
CP	Coefficiente de Permeabilidade
DAEE	Departamento de Águas e Energia Elétrica
EHIS	Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social
EIV	Estudo de Impacto de Vizinhança
FLOSS	<i>Free/Libre/Open Source Software</i>
FNHIS	Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social
GRAPROHAB	Grupo de Análise e Aprovação de Projetos Habitacionais do Estado de São Paulo
HIS	Habitações de interesse social
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IFC	<i>Industry Foundation Class</i>
MCMV	Minha Casa, Minha Vida
PMSC	Prefeitura do Município de São Carlos
PROHAB	Progresso e Habitação de São Carlos
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SEADE	Sistema Estadual de Análise de Dados
SH	Secretaria da Habitação
SIG	Sistemas de Informação Geográfica
SNHIS	Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social
SQL	<i>Structured Query Language</i>
SRC	Sistema de Referência de Coordenadas
TIC	Tecnologia da Informação e Comunicação

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
1.1. Contextualização	14
1.2. Justificativa.....	17
1.3. Objetivos.....	20
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
2.1. Área de Estudo	21
2.2. Legislações Aplicáveis na Aprovação de Empreendimentos Habitacionais	23
2.3. Aprovação de Empreendimentos Habitacionais.....	27
2.4. Tecnologia na Esfera Pública	29
2.5. Sistemas de verificação automatizados	32
3. MÉTODO	37
3.1. Revisão da Legislação	38
3.2. Empreendimento Objeto de Estudo.....	40
3.3. Ferramenta Consultiva para Sociedade Civil	43
3.3.1. Desenvolvimento do banco de dados.....	43
3.3.2. Desenvolvimento da interface e funções da ferramenta	43
3.4. Ferramenta Geoespacial	46
3.4.1. Arquivos vetoriais.....	46
3.4.2. Plugin QGIS®.....	48
4. RESULTADOS	51
4.1. Ferramenta Consultiva para Sociedade Civil	51
4.1.1. Formatação de Banco de Dados.....	52
4.1.2. Interface Gráfica.....	53
4.1.3. Verificação Paramétrica	54
4.1.4. Inserir Nova Zona	60
4.1.5. Alterar Parâmetros.....	63
4.1.6. Apagar Zona	64
4.2. Ferramenta Geoespacial	64
4.2.1. Arquivos Vetoriais	65
4.2.2. Plugin QGIS®.....	67

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	70
6. CONCLUSÃO.....	74
REFERÊNCIAS	75
ANEXO A – VALORES DE REFERÊNCIA POR ZONA DO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS	81
ANEXO B – TABELA DE ATRIBUTOS DO VETOR DE ZONEAMENTO MUNICIPAL	82

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

Segundo a Fundação João Pinheiro (2018), o déficit habitacional no Brasil é de 6,355 milhões de domicílios, e se dá a partir de quatro principais categorias, sendo elas: habitações precárias, coabitação familiar, ônus excessivo com aluguel e adensamento excessivo de domicílios alugados. Ainda segundo a Fundação João Pinheiro (2018), 47,1% do déficit total no Brasil se concentra nas famílias de baixa renda, ou seja, cuja renda familiar é de até 3 salários mínimos.

No Brasil, a Caixa Econômica Federal (CEF) possui um papel importante como agente financeiro para indução dos programas habitacionais, sendo responsável por mais de 70% do mercado nacional de crédito imobiliário (FERNANDES; FORMOSO; TZORTZOPOULOS-FAZENDA, 2018). No entanto, tal instituição enfrenta problemas para avaliar muitos projetos em prazos relativamente curtos, principalmente após a criação do programa Minha Casa, Minha Vida (BALDAUF, 2013), o qual foi substituído pelo Programa Casa Verde e Amarela, instituído pela Lei nº 14.118, de 12 de janeiro de 2021 (BRASIL, 2021).

No sentido de reduzir tal déficit habitacional, melhorar a qualidade, e aumentar a oferta da moradia, o setor público têm realizado a promoção de programas de Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social (EHIS). As habitações de interesse social (HIS) são respaldadas pela Lei nº 11.124 de 15 de junho de 2005 (BRASIL, 2005), que dispõe sobre o Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social (SNHIS), responsável por viabilizar acesso à terra urbanizada e à habitação digna e sustentável à população de menor renda, e o Fundo Nacional de Habitação de Interesse Social (FNHIS), com o objetivo de centralizar e gerenciar recursos voltados ao SNHIS.

No entanto, Novack e Hidalgo (2017), a partir de uma revisão de literatura, apontam que as problemáticas habitacionais não são completamente resolvidas a partir de tais medidas legais, uma vez que a habitação de forma isolada pode não garantir a realização de uma vida digna. Desta forma, os autores apontam a participação popular como um ponto importante no processo de concepção de programas e projetos habitacionais, a fim de aumentar o foco social e descentralizar as medidas voltadas ao capital e ao mercado imobiliário. Ainda, Araújo e Villa (2020) apontam que os projetos de HIS, por não agregarem amplas necessidades básicas de seus usuários, ocasionam uma falsa sensação de bem-estar. Tal fato implica na realização de adaptações irregulares nas edificações pelos próprios habitantes, podendo acarretar novos problemas estruturais por conta de tais intervenções realizadas sem a devida assistência técnica.

A participação popular, portanto, se trata de um mecanismo da gestão democrática das cidades, obtida por meio de audiências e consultas públicas, além de outras ferramentas de caráter participativo. No entanto, existe uma lacuna entre o que é previsto em instancias legais e sua efetivação (ANTONELLO, 2017). Desta forma, é possível identificar diferentes graus de participação popular, assim como elucidado por (RAYMOND, 2009) e descrito no Quadro 1. Ainda, verifica-se uma forte relação entre os graus de participação e a escala de aplicação, onde o envolvimento cível decresce à medida que se afasta do nível local e se aproxima do nível nacional (RAYMOND, 2009).

Quadro 1 – Graus de participação pública.

Grau de Participação	Descrição
Conscientização Pública	Conscientizar o público acerca de princípio de ação. A ideia é que tais princípios que orientam o desenvolvimento de políticas comecem a ser questionados pela sociedade civil
Informação Pública	Fazer com que a sociedade civil compreenda determinado diagnóstico ou decisão de uma autoridade administrativa ou política. Nesse caso, a sociedade civil apenas recebe a informação e nenhum conselho é esperado em troca.
Consulta Pública	Onde se recolhe a opinião da sociedade sem que altere necessariamente a decisão tomada.
Debate Público	Os atores da sociedade civil são convidados a "preparação parcialmente negociada de uma decisão a ser tomada por uma autoridade administrativa ou política" (MERMET, 1998).
Co-construção	Determinados membros da sociedade civil são convidados a desenvolver um projeto, cuja implementação e acompanhamento serão efetuados por atores administrativos ou políticos.
Gestão Participativa	Representantes da sociedade civil participam dos órgãos de tomada de decisão e de monitoramento de projetos ao lado de representantes de autoridades administrativas ou políticas.
Autogestão	Projetos são definidos e executados pela sociedade civil. A administração pública é responsável por verificar a validade jurídica das ações empreendidas. O envolvimento da sociedade pode levar a mudanças profundas e duradouras.

Fonte: Adaptado de Raymond (2009).

Os órgãos públicos envolvidos no processo de avaliação e licenciamento de projetos de EHIS estabelecem requisitos e critérios de aprovação, baseados em normas técnicas e legislações de âmbito federal, estadual e municipal. O escopo de tais legislações, em geral, tende a reduzir os impactos negativos associados ao ambiente urbano, decorrentes da implantação de tais empreendimentos. Ou seja, para todo projeto de empreendimento

habitacional, faz-se necessária sua análise prévia para a aprovação em órgãos públicos e agentes financeiros envolvidos. Neste processo são analisadas todas as especificações relativas às normativas técnicas do projeto de um determinado empreendimento, visando atender às legislações vigentes e aplicáveis.

De acordo com Bonatto, Miron e Formoso (2011), a avaliação de empreendimentos é um procedimento importante para a melhoria de qualidade das habitações de interesse social. No entanto, para que isto aconteça, são realizados procedimentos burocráticos e complexos, sendo muitos deles onerosos e demorados. Segundo Rappl e Medrano (2017), nota-se uma ausência de sistematização no processo de avaliação dos projetos de EHIS, onde as ferramentas de avaliação de projetos ainda são insuficientes para aplicação na escala exigida pelos programas governamentais. De acordo com İlal e Günaydin (2017), apesar dos projetos habitacionais serem desenvolvidos em ambiente virtual, a verificação de requisitos ainda é frequentemente analógica, podendo gerar atrasos e aumentar o risco de erros durante os processos de verificação.

Um processo de avaliação e licenciamento de projetos ineficaz pode acarretar em loteamentos irregulares, clandestinos ou com excessivos impactos ambientais. Os loteamentos irregulares podem ser caracterizados, entre outros aspectos, como aqueles que obtiveram aprovação por parte do poder público municipal, mas não foram executados em conformidade com os projetos avaliados. Os loteamentos clandestinos, por sua vez, são aqueles que não passaram pelo crivo das autoridades competentes para o licenciamento. Tal situação é agravada pela falta de fiscalização e acompanhamento dos órgãos públicos (SAULE JR. *et al.*, 2008).

Portanto, todo o processo de concepção de um loteamento e implantação de um empreendimento habitacional deve ser acompanhado de forma efetiva por parte do poder público municipal. Tal acompanhamento deve ocorrer desde etapas preliminares, como a emissão de diretrizes, até a fiscalização de suas conformidades perante leis e normas, a citar Lei nº 6.766/1979 (BRASIL, 1979) e Lei nº 10.257/2001 (BRASIL, 2001), as quais dispõem, respectivamente, sobre o Parcelamento do Solo Urbano e sobre o Estatuto da Cidade, além das legislações de abrangência local, como o Plano Diretor Municipal e o Código de Obras.

A checagem de requisitos de projeto engloba procedimentos de avaliação de processos, ações, planejamentos, documentos, leis e regulamentos aplicáveis a determinado assunto, de forma a garantir segurança, qualidade e sustentabilidade (SALAMA e EL-GOHARY, 2011). No entanto, em muitos casos, tal checagem é baseada em fatores subjetivos ou cercados de interesses políticos, os quais nem sempre cumprem os critérios técnicos exigidos. Neste sentido, a adoção de ferramentas automatizadas para a verificação de requisitos de projetos pode tornar

o processo licenciamento mais ágil e eficiente (İLAL e GÜNAYDIN, 2017), além de transparente, em especial, aos cidadãos, permitindo que exerçam um papel de coprodutores de políticas públicas, e não apenas abordados como objeto político (PEREIRA *et al.*, 2018).

A criação de ferramentas computacionais a partir do princípio de *software* gratuito, ou FLOSS (*Free/Libre/Open Source Software*), facilita seu uso e implementação por parte do poder público, sendo capaz de oferecer maior transparência, e facilitar o acesso da população aos serviços e dados públicos (KON *et al.*, 2011). Ainda, tal abordagem permite uma maior interação entre diferentes setores no desenvolvimento de *software*. Segundo Wen *et al.* (2020), as metodologias colaborativas que fundamentam o conceito FLOSS podem ter sucesso, especialmente, entre a academia e o poder público.

Desta forma, a parametrização do licenciamento de projetos se apresenta como uma alternativa na promoção de uma análise objetiva de impactos e modificações na infraestrutura, assim como os demais possíveis impactos no ambiente urbano decorrente da implantação de um empreendimento habitacional. Segundo Mororó *et al.* (2016), a sistematização de requisitos de projetos auxilia nos procedimentos de tomadas de decisão e, assim, o estudo da formalização de parâmetros para a alimentação de sistemas automatizados mostra-se relevante do ponto de vista da gestão urbana. Ainda, vale ressaltar que a presente pesquisa foi realizada durante a pandemia do COVID-19, fato que fez com que a população ficasse em isolamento em suas residências. Conforme estudado por Hu *et al.* (2021), a combinação de variáveis urbanas e ambientais possui influência na taxa de contágio e número de óbitos decorrentes da pandemia do COVID-19. Desta forma, a adequação urbana e habitacional frente às normas e legislações faz-se ainda mais significativa durante tal período, de forma que a vida nas cidades foi alterada drasticamente com o isolamento social e as medidas de segurança contra a pandemia.

1.2. Justificativa

A proposta deste estudo se mostra relevante, tanto na área de desenvolvimento e planejamento urbano, quanto na área da ciência computacional. A motivação desta pesquisa se deu pela identificação de uma tramitação de projetos de empreendimentos habitacionais pouco eficiente em muitas prefeituras do país. Dentre os pontos que caracterizam tal ineficiência, estão o elevado tempo para análise e licenciamento, o excesso de procedimentos burocráticos (devido às muitas partes envolvidas nas etapas de análise) e a falta de transparência, que pode dificultar a compreensão da sociedade, e dos próprios agentes envolvidos, sobre os possíveis impactos de um empreendimento na qualidade da vida urbana.

A participação popular, como forma de promover maior transparência, é garantida pelo Estatuto da Cidade, Lei nº 10.257/2001 (BRASIL, 2001), e aplicado pelo município mediante instrumentos previstos em legislações específicas, como o Plano Diretor. Entretanto, tais ferramentas de participação popular não se mostram eficazes, de modo a integrar o avanço do capital e negar as funções sociais das cidades, podendo torná-las espaços de exclusão (BRITTO e OLIVEIRA, 2019).

Segundo Peres e Cassiano (2017), a participação popular nos processos de licenciamento pode garantir o conhecimento por parte da população afetada diante de vantagens e prejuízos decorrentes da implantação de novos empreendimentos imobiliários. A partir deste conhecimento, as discussões sobre as alternativas de implantação de um projeto devem ocorrer no momento em que alterações ainda sejam possíveis, de forma que este procedimento seja representativo a partir de uma mobilização política da população, e não apenas como cumprimento de uma etapa de legitimação do processo de aprovação. Desta forma, os pontos levantados em audiência pública devem ser registrados e documentados em atas, servindo como auxiliares no processo de licenciamento, fiscalização, gerenciamento e operação.

Como apontado por Oliveira; Lopes e Sousa (2018), a baixa adesão popular nas audiências e conselhos municipais se dá pela frágil aplicação e pelo caráter excessivamente técnico destes instrumentos. Ainda segundo os autores, as audiências públicas mostram-se cada vez mais vazias, pois há uma percepção por parte da população de que suas opiniões nem sempre são consideradas, e que tais instâncias são realizadas apenas como formalidades de um procedimento padrão.

Segundo Samonte *et al.* (2018), ferramentas de análise de dados podem ter bons resultados na tomada de decisão governamental associada à participação popular, desde que tais dados sejam tratados e apresentados da melhor forma à população. Como consequência da agilidade, objetividade e, principalmente, da transparência nos procedimentos de licenciamento de empreendimentos imobiliários, é possível assegurar uma maior participação popular nas etapas de tomadas de decisão e, possivelmente, aumentar a oferta habitacional com melhor qualidade.

No âmbito computacional, a presente pesquisa é inovadora no Brasil, uma vez que todo processo de licenciamento de projetos habitacionais é realizado por meio do capital humano presente nos diversos setores da esfera pública, com pouco ou sem o auxílio de ferramentas computacionais que facilitem a avaliação paramétrica prevista na legislação, tornando tal processo subjetivo, lento e ineficaz. Ainda, a grande quantidade de informações e a

complexidade da legislação urbana e ambiental no âmbito federal, estadual e municipal torna a checagem manual uma tarefa sujeita às falhas inerentes ao ser humano.

Scheidt *et al.* (2010) apontaram falhas na abrangência da avaliação de impactos ambientais em EHIS, uma vez que é realizada individualmente, por unidade habitacional, sem levar em consideração o elevado número de unidades frequentemente implantadas neste tipo de empreendimento. Ainda segundo os autores, somam-se a este aspecto, os diversos procedimentos e critérios frequentemente informais, os quais podem estar submetidos a falhas no processo de avaliação de requisitos ambientais e normativos, implicando muitas vezes em impactos ambientais negativos e futuros custos de manutenção e recuperação da infraestrutura urbana.

No Brasil, existem pesquisas associadas ao uso de ferramentas computacionais voltadas ao projeto construtivo de empreendimentos habitacionais utilizando, principalmente, o *Building Information Model* (BIM). Fernandes, Formoso e Tzortzopoulos-Fazenda (2018) apontam a importância de ampliar o conceito de verificação automatizada de requisitos em empreendimentos como um todo, inclusive a partir de outros órgãos verificadores, como as prefeituras, a fim de criar um banco de regras mais amplo para o objeto de estudo em questão. Neste contexto, é importante recorrer a recursos informatizados que auxiliem na análise paramétrica referente aos requisitos legais para aprovação de projetos de EHIS. Iniciativas como estas poderiam ampliar tal banco de regras para análise e licenciamento de empreendimentos no Brasil, favorecendo, portanto, a padronização de procedimentos como um todo.

Ainda, por meio de buscas em bases científicas (*Scopus* e *Web of Science*), foi constatado que pesquisas sobre verificação automatizada de requisitos associadas à Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são pouco exploradas. O Quadro 2 ilustra a quantidade publicações de acordo com determinados termos de busca. Ao trocar o termo *GIS*¹ por *BIM* os resultados aumentam consideravelmente, indicando a falta de produções acerca de ferramentas para verificação automatizada de requisitos com o uso de SIG.

Neste contexto, faz-se necessária a elaboração de uma ferramenta que auxilie os processos de licenciamento e aprovação de empreendimentos habitacionais, tornando a avaliação das especificações de projeto mais objetiva e garantindo um licenciamento mais sustentável e seguro. Além disso, ferramentas computacionais de livre acesso podem ser um recurso adicional à população em etapas de aprovação do empreendimento em que ocorra sua

¹ *Geographic Information System*. Tradução para o inglês de Sistema de Informação Geográfica (SIG)

participação, de modo a auxiliar na análise e entendimento dos dados e parâmetros dos empreendimentos, garantindo embasamento para a tomada de decisão popular.

Quadro 2 – Resultado de buscas nas bases científicas.

Termos de Busca	Scopus	Web of Science
<i>GIS AND compliance AND check</i>	35	11
<i>GIS AND code AND compliance AND check*</i>	4	2
<i>GIS AND housing AND compliance AND check*</i>	0	0
<i>BIM AND compliance AND check*</i>	109	74
<i>BIM AND code AND compliance AND check*</i>	72	37
<i>BIM AND housing AND compliance AND check*</i>	4	5

Fonte: O autor.

Ainda, ferramentas computacionais baseadas em plataformas SIG podem gerar bons resultados na avaliação de parâmetros urbanos, os quais são requisitos para a aprovação de novos empreendimentos. Por se tratar de uma ferramenta técnica, o uso por parte do poder público é o mais indicado, podendo compor a forma de avaliação e licenciamento de projetos imobiliários.

Desta forma, o uso de recursos computacionais voltados para o licenciamento de projetos habitacionais pode sistematizar, uniformizar e concentrar o processo de aprovação em apenas um único gestor ligado a uma instituição pública. A adoção de uma ferramenta pública e gratuita pode fornecer recursos à população quanto à verificação de conformidade dos projetos de empreendimentos habitacionais, atuando como mais um instrumento para tornar sua participação mais assertiva. Por fim, uma ferramenta que faça o uso de dados digitais de projeto para a verificação automatizada de requisitos pode auxiliar o licenciamento perante os órgãos públicos, onde o resultado gerado por tal ferramenta poderia facilitar a prestação de contas para a sociedade, tornando o processo de aprovação mais objetivo, transparente e menos oneroso.

1.3. Objetivos

A presente pesquisa, de acordo com seu caráter prescritivo, tem por objetivo o desenvolvimento de soluções computacionais que auxiliem no processo de verificação paramétrica das questões legais envolvidas nos procedimentos de análise e licenciamento de projetos imobiliários. Para tal, o município de São Carlos (SP) é adotado como área de estudo, onde os parâmetros urbanísticos dispostos em seu Plano Diretor Municipal são utilizados ao longo desta pesquisa como valores de referência.

As soluções computacionais propostas são divididas em duas frentes. Estas são voltadas, respectivamente, para a participação popular e para verificação de requisitos em modelos digitais geoespaciais.

A fim de exemplificar o funcionamento das ferramentas, será desenvolvido um estudo de caso simulando um processo de verificação em um empreendimento habitacional localizado no município de estudo. Por fim, os objetivos específicos a serem atingidos são:

- Desenvolver uma ferramenta para uso simplificado da sociedade civil, a fim de atuar como instrumento consultivo para embasamento de opinião em audiências públicas e conselhos municipais. Ainda, incorporar funções de gerenciamento à ferramenta, permitindo criar, alterar e excluir parâmetros de referência;
- Desenvolver um plugin para QGIS[®] que verifique parâmetros urbanísticos baseados nos arquivos vetoriais de projeto;
- Desenvolver um estudo de caso, a fim de exemplificar e testar a usabilidade das ferramentas desenvolvidas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Área de Estudo

Para fins de aplicação das ferramentas propostas, a cidade de São Carlos (SP), e suas respectivas leis, são utilizadas na presente dissertação. O município de São Carlos (Figura 1) fica localizado no Estado de São Paulo, possui uma área de 1.136,907 km² (IBGE, 2011) e uma população de 242.632 habitantes em 2020 (SEADE, 2020). Ainda segundo o SEADE, o grau de urbanização do município é de 96%.

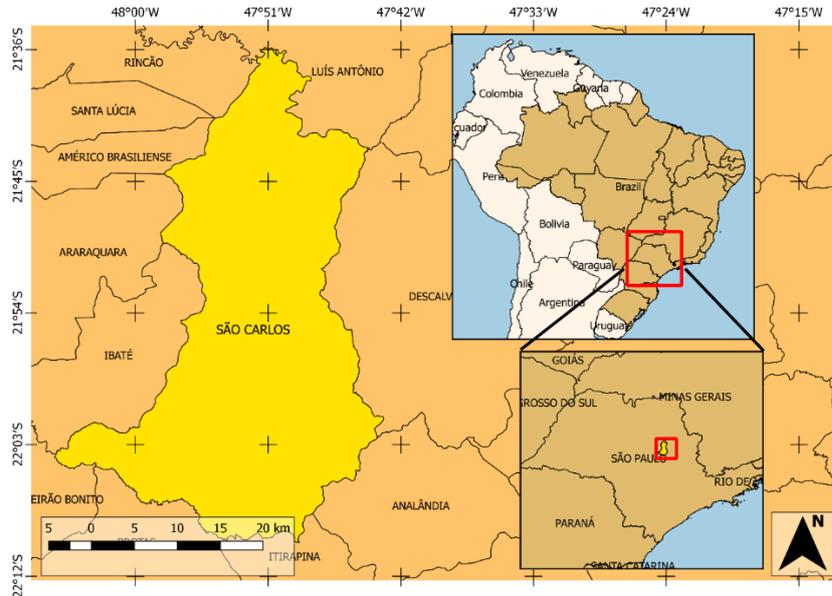
Apesar do município apresentar elevado grau de saneamento e infraestrutura, com 99,90% do município atendido pela coleta de resíduos, 99,66% abastecido por água e 99,43% com esgotamento sanitário (SEADE, 2020), o PROHAB² (2017), em seu planejamento orçamentário, aponta que o déficit habitacional do município para famílias com renda de 1 a 5 salários mínimos é estimado em seis mil unidades habitacionais.

Como elucidado por Stanganini e Lollo (2018), nas últimas décadas, a área urbana do município de São Carlos tem passado por um crescimento rápido e desordenado. Tal fato se deve, em grande parte, pela valorização imobiliária de determinadas regiões, potencializando problemas ambientais consequentes da falta de planejamento urbano. Ainda, em contraponto à

² Progresso e Habitação São Carlos S/A. Autarquia responsável por cuidar da operacionalização da política habitacional da cidade São Carlos. Em especial, implementa projetos voltados à população de baixa renda e elabora programas integrados para captação de recursos externos.

valorização imobiliária, a falta de fiscalização possibilitou a intensa ocupação de áreas de várzea e implantação de EHIS, acarretando na expansão das áreas impermeáveis a níveis irregulares e insustentáveis.

Figura 1 – São Carlos e Municípios Limítrofes.



Fonte: O autor.

A expansão da mancha urbana do município de São Carlos ocorreu sem a ponderação necessária de fatores ambientais (i.e., geologia, pedologia, erosão, assoreamento, dentre outros), assim como sem considerar os interesses da população em relação a tal expansão (DUPAS, 2001). O acelerado aumento da mancha urbana de São Carlos gerou densidades demográficas diferentes por toda sua extensão. Este fato aliado à falta de planejamento pode contribuir para a degradação ambiental do município (PONS, 2006).

Entre as décadas de 1940 e 1970, a expansão do município nos fundos de vale (Córregos do Tijuco Preto, Monjolinho e Gregório) ocorreu de forma acelerada. Entre 1990 e 2010 tal expansão permaneceu crescendo de forma gradativa, caracterizando a expansão urbana destas regiões e, conseqüentemente, pressionando continuamente os recursos ambientais e hídricos (STANGANINI e LOLLO, 2018). Mais especificamente, entre 1940 e 2002, a área loteada de São Carlos aumentou em aproximadamente oito vezes, passando de 4,4 km² para 36,9 km² (MENDES e MENDIONDO, 2007).

O principal instrumento de planejamento urbano do município de estudo é dado pela Lei n° 18.053/2018 (SÃO CARLOS, 2018), a qual se trata da última versão do Plano Diretor Municipal de São Carlos. Tal versão, além de seguir a mesma estrutura, contempla todas as

revisões realizadas sobre o Plano Diretor disposto pela Lei 13.691 de 25 de novembro de 2005, que em seu Art. 236º prevê sua revisão, pelo menos, a cada 5 anos. Tal fato evidencia a possibilidade de alterações em valores de coeficientes e parâmetros legais em um prazo mais curto de tempo quando comparado com a lei federal do Estatuto da Cidade, que prevê a revisão de Planos Diretores a cada 10 anos.

Ao se tratar da implantação de novos empreendimentos imobiliários, o Plano Diretor possui ferramentas que buscam garantir maior qualidade do ambiente urbano. O Art. 208 do Plano Diretor Municipal de São Carlos aponta:

Os empreendimentos que tenham significativa repercussão no meio ambiente ou sobre a infraestrutura, adicionalmente ao cumprimento dos demais dispositivos previstos na legislação urbanística, terão sua aprovação condicionada à elaboração de Estudo de Impacto de Vizinhança – EIV e aprovação de Relatório de Impacto de Vizinhança – RIVI, quando for o caso (SÃO CARLOS, 2018).

Dentre os objetivos do EIV, destacam-se aqueles descritos pelos Incisos I e II do Art. 209 do Plano Diretor Municipal de São Carlos, os quais apontam, respectivamente, sobre informar previamente acerca dos efeitos e impactos sobre a qualidade de vida decorrentes da implantação de um empreendimento, e sobre democratizar o processo de licenciamento urbano e ambiental.

O EIV pode ser um instrumento eficaz na compilação de dados de projeto, e no informe de impactos sobre a qualidade de vida da população residente na área de influência do empreendimento em questão. No entanto, segundo Cassiano e Peres (2016), avaliar e informar previamente os impactos positivos e negativos de um empreendimento, sobre o meio ambiente urbano e a qualidade de vida da população, é uma deficiência operacional do EIV, em especial no município de São Carlos, cidade utilizada como estudo de caso desta pesquisa.

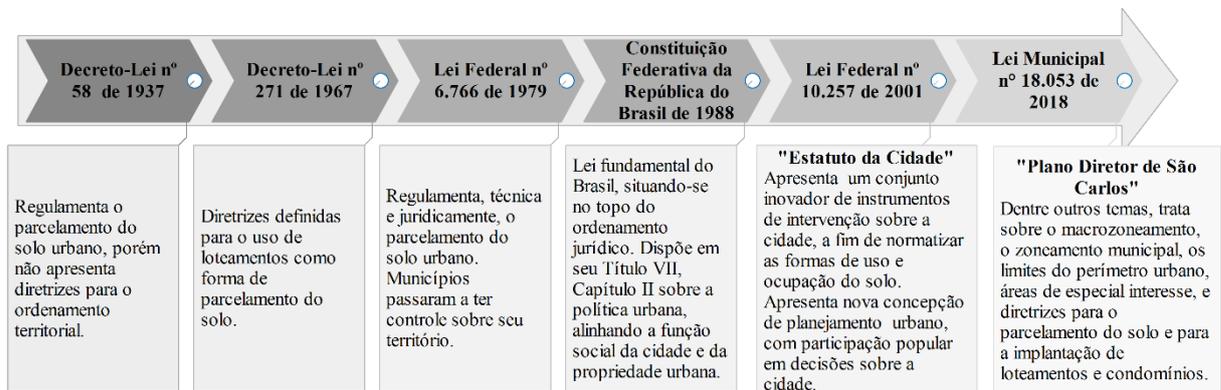
2.2. Legislações Aplicáveis na Aprovação de Empreendimentos Habitacionais

Um empreendimento habitacional pode ocorrer por meio do parcelamento de um vazio urbano. Uma gleba (porção de terra antes de seu parcelamento) pode ser parcelada por meio de dois principais mecanismos, o desmembramento ou o loteamento. O desmembramento consiste na subdivisão da gleba em lotes com o aproveitamento do sistema viário já existente. O loteamento, por sua vez, consiste na subdivisão da gleba em lotes com a abertura de novas vias de circulação, logradouros públicos ou prolongamento, modificação ou ampliação das vias existentes. Sendo assim, após o parcelamento, ficam definidos os lotes, os quais devem atender aos índices e parâmetros definidos pelas legislações vigentes e estarem servidos de infraestrutura básica (BRASIL, 1979).

Ao se definir um empreendimento imobiliário, o mesmo deve ser submetido ao processo de licenciamento. Segundo Hoyler (2019), regular a incorporação imobiliária de um empreendimento, em primeira instância, é impor diretrizes e restrições que limitam o uso e ocupação do solo, a citar parâmetros previstos no Plano Diretor, Zoneamento, Código de Obras, dentre outras leis e normas vigentes em dado município. A segunda instância da regulação é voltada à avaliação do cumprimento de normas e diretrizes de tais ordenamentos, ou seja, trata-se das práticas para a aprovação dos empreendimentos pela prefeitura.

Portanto, a aprovação de um projeto de empreendimentos habitacional está sujeita ao cumprimento de diversas legislações, as quais apresentam diretrizes que buscam garantir uma ocupação urbana planejada e sustentável, para posterior avaliação perante órgãos públicos reguladores. A Figura 2 ilustra o histórico das principais legislações que passaram a regulamentar as formas de ocupação urbana em âmbito federal e local, considerando o município de estudo (São Carlos - SP).

Figura 2 – Linha temporal das principais legislações que regulamentaram a ocupação urbana.



Fonte: Adaptado de Brasil (1937, 1967, 1979, 1988, 2001) e São Carlos (2018).

O Decreto-Lei nº 58 de 10 de dezembro de 1937 foi o responsável por regulamentar o parcelamento do solo urbano e a compra de terrenos (BRASIL, 1937), porém ainda não apresentava diretrizes para o ordenamento territorial, deixando a municipalidade sem recursos ou ferramentas para interferir ou assegurar qualidade nos projetos de parcelamento do solo, os quais muitas vezes eram suscetíveis à particularidades de acordo com a realidade local (BARREIROS e ABIKO, 1998). Após 30 anos, em 1967, a partir do Decreto-Lei nº 271 (BRASIL, 1967), diretrizes começaram a ser definidas para o uso de loteamentos como forma de parcelamento do solo. Entretanto, o parcelamento do solo urbano só passou a ser regulamentado de fato, tanto juridicamente quanto tecnicamente, em 1979, através da Lei Federal 6.766 de 19 de dezembro de 1979. A partir de sua vigência, “Os Estados, o Distrito

Federal e os Municípios poderão estabelecer normas complementares relativas ao parcelamento do solo municipal para adequar o previsto nesta Lei às peculiaridades regionais e locais” (Lei Federal nº 6.766/1979, Art. 1º - Parágrafo único). Desta forma, os municípios passaram a ter controle no parcelamento de seu território, assegurando uma melhor distribuição de lotes, vias e equipamentos públicos, planejados de acordo com o contexto do município.

Em 1999, a Lei nº 9.785 (BRASIL, 1999), que altera a Lei nº 6.766/1979 sobre o parcelamento do solo urbano, passou a obrigar os empreendimentos a executar e instalar equipamentos urbanos de acordo com seu tipo e suas infraestruturas básicas, além de definir regras para a ocupação do território urbano com a finalidade de promover maior segurança e qualidade de vida à população. No entanto, a Lei nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007), a qual está em vigência e se mostra mais completa, estabelece e modifica o artigo que trata das infraestruturas básicas do parcelamento do solo urbano da Lei nº 6.766/1979, definindo-as como “equipamentos urbanos de escoamento de águas pluviais, iluminação pública, esgotamento sanitário, abastecimento de água potável, energia elétrica pública e domiciliar e vias de circulação”.

A fim de tratar as lacunas presentes na Lei de Parcelamento do Solo Urbano, os municípios possuem certa autonomia na ordenação de seu território. Este direito é respaldado pelo Art. 30º da Constituição Federal de 1988, que trata das competências dos municípios. Dentre seus incisos, aponta a permissão de legislar sobre assuntos de interesse local; suplementar legislações nacionais e estaduais, quando couber; e promover ordenada ocupação territorial, mediante o planejamento e o controle do uso, do parcelamento, e da ocupação do solo. Ainda, os Artigos 182 e 183 da Constituição Federal do Brasil aponta diretrizes para a política urbana, levando em consideração a execução de planos diretores pelos municípios com mais de vinte mil habitantes, e o cumprimento da função social da cidade e da propriedade urbana.

Em 2001, por meio do Estatuto da Cidade, regulamentado pela Lei nº 10.257 de 10 de julho de 2001, os municípios passaram a contar com um conjunto inovador de instrumentos de intervenção sobre seus territórios, criados com o intuito de normatizar as formas de uso e ocupação do solo. Tal lei apresenta uma nova concepção de planejamento e gestão urbana, incorporando a participação popular em processos decisórios sobre a cidade (SAULE JR. e ROLNIK, 2001). Desta forma, a lei em questão busca estreitar a relação entre o poder público e a população no processo de planejamento urbano, fortalecendo a gestão democrática, o direito à cidade e sua função social (OLIVEIRA *et al.*, 2018).

O Estatuto da Cidade, em seu Art. 1º, parágrafo único, ao estabelecer “normas de ordem pública e interesse social que regulam o uso da propriedade urbana em prol do bem coletivo e do bem-estar dos cidadãos, bem como do equilíbrio ambiental” (BRASIL, 2001), oferece múltiplos mecanismos para o enfrentamento dos problemas urbanos, sendo o Plano Diretor definido como um dos instrumentos da política urbana no planejamento municipal e, como definido no Art. 39º do Estatuto da Cidade:

A propriedade urbana cumpre sua função social quando atende às exigências fundamentais de ordenação da cidade expressas no plano diretor, assegurando o atendimento das necessidades dos cidadãos quanto à qualidade de vida, à justiça social e ao desenvolvimento das atividades econômicas (BRASIL, 2001).

Desta forma, o Estatuto da Cidade concede ao município, através do Plano Diretor, a aplicação de alguns instrumentos voltados à gestão de seu espaço urbano. Dentre tais instrumentos estão o parcelamento, edificação ou utilização compulsórios; direito de preempção; outorga onerosa do direito de construir; transferência do direito de construir; dentre outros. Ainda, o Estatuto da Cidade, em seu Capítulo III, Art. 40º, § 3º, exige a revisão do Plano Diretor Municipal a cada 10 anos, evidenciando a possibilidade de atualização em seus parâmetros e valores legais, dentre outros trechos do texto legislativo, buscando manter a Lei em consonância com a realidade municipal ao longo dos anos.

Para o caso de São Carlos, município de estudo, o parcelamento do solo é atualmente orientado pela Lei nº 18.053/2018 (SÃO CARLOS, 2018), o Plano Diretor do Município de São Carlos. Dentre as abordagens contempladas estão o macrozoneamento, o zoneamento municipal, os limites do perímetro urbano, áreas de especial interesse, e diretrizes para o parcelamento do solo e para a implantação de loteamentos e condomínios. O inciso I do Art. 9º do Plano Diretor de São Carlos é o responsável por explicitar o objetivo de ordenar e controlar as formas de ocupação de acordo com o equilíbrio socioambiental, estabelecendo parâmetros urbanísticos adequados.

Outra importante regulamentação associada a projetos habitacionais, a nível local, é a Lei nº 15.958 de 29 de dezembro de 2011, que dispõe sobre o Código de Obras e Edificações do Município de São Carlos. Conforme seu Art. 2º, “todos os projetos de obras e edificações deverão atender ao disposto nesta Lei, no Plano Diretor e sua legislação correlata e de regulamentação [...]” (SÃO CARLOS, 2011). Ainda, como aponta os incisos I e II do Art. 5º do Código de Obras de São Carlos, compete a Prefeitura do Município de São Carlos (PMSC) emitir diretrizes de uso e ocupação do solo de acordo com legislação federal, estadual e municipal, aprovar projetos, e licenciar obras visando atender o Código de Obras e a legislação

urbanística em vigor. O Código de Obras trata sobre a emissão de diretrizes para projetos de obras e edificações por parte da PMSC, da forma de aprovação e licenciamento, das possíveis certificações que as obras podem receber, e das normas exigidas para os projetos.

2.3. Aprovação de Empreendimentos Habitacionais

Uma vez que todas as limitações, exigências, e requisitos técnicos para a aprovação de um parcelamento do solo urbano, por parte dos poderes públicos, têm origem em legislações e normas de maneira geral (AMADEI e AMADEI, 2003, p.40 *apud*. ZAMBRANO, 2018), parte de tal processo consiste na verificação do cumprimento de tais requisitos e exigências.

De acordo com Amorim e Rumel (2013), a primeira etapa identificada no processo de desenvolvimento de um loteamento é a prospecção da área, a qual consiste em:

- 1- **Análise Jurídica:** Consulta no registro de imóveis e situação legal perante a administração municipal;
- 2- **Aspectos Topográficos, Geotécnicos e Geográficos:** Análise a respeito de variáveis geológicas, geotécnicas, geográficas, topológicas e geomorfológicas;
- 3- **Análise de Infraestrutura:** Rede de distribuição de água potável, esgotamento sanitário, rede de drenagem pluvial, rede de energia elétrica, rede de dados e sistema viário;
- 4- **Análise de Restrições Urbanísticas e Ambientais:** Diretrizes técnicas e ambientais relacionadas à fauna, à flora, aos recursos hídricos, à vegetação, e ao patrimônio paisagístico, arqueológico, histórico e cultural.

A segunda etapa do processo de parcelamento do solo urbano é a verificação da viabilidade perante a legislação em âmbito federal, estadual e municipal. Neste momento deve ser identificada a localização da gleba em relação ao zoneamento municipal, assim como outras características com potencial restritivo para o parcelamento, a fim de constatar os requisitos legais a serem cumpridos. Em seguida, é necessário realizar uma pesquisa de mercado para verificar a viabilidade de mercado do empreendimento (PEREZ e KIMURA, 2014). Nesta etapa deve-se identificar o potencial de vendas e traçar o perfil dos potenciais compradores dos imóveis a serem empreendidos. Tais informações podem ser levantadas por meio de pesquisas de faixa etária, renda familiar e possíveis necessidades de tais compradores. Por fim, deve-se verificar a viabilidade econômica e financeira, de modo a considerar os custos com projeto, serviços, taxas, impostos, modelo econômico e custos com benfeitorias e contrapartidas exigidas pelo poder público.

Parte do que é exigido pelos órgãos públicos, por exemplo, é a infraestrutura básica apresentada pela Lei 6.766/1979 (BRASIL, 1979), que consiste em: drenagem de águas pluviais; iluminação pública; esgotamento sanitário; abastecimento de água potável; energia elétrica pública e domiciliar e vias de circulação. Ainda, faz-se necessário o cumprimento dos itens exigidos por leis municipais, como a pavimentação das ruas; guias; sarjetas e arborização urbana.

Nos municípios do Estado de São Paulo, o licenciamento de loteamentos se dá pela expedição das diretrizes municipais; elaboração de projetos e documentação; montagem do processo; Aprovação Prévia; Aprovação pelo GRAPROHAB – Grupo de Análise e Aprovação de Projetos Habitacionais do Estado de São Paulo – e Aprovação Final (ZAMBRANO, 2018).

A Aprovação Prévia compete ao município analisar e dar o parecer ao projeto urbanístico, ao memorial descritivo, aos projetos complementares associados à infraestrutura, às edificações e ao meio ambiente. A partir de determinadas dimensões do empreendimento, é necessário também a execução do Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV).

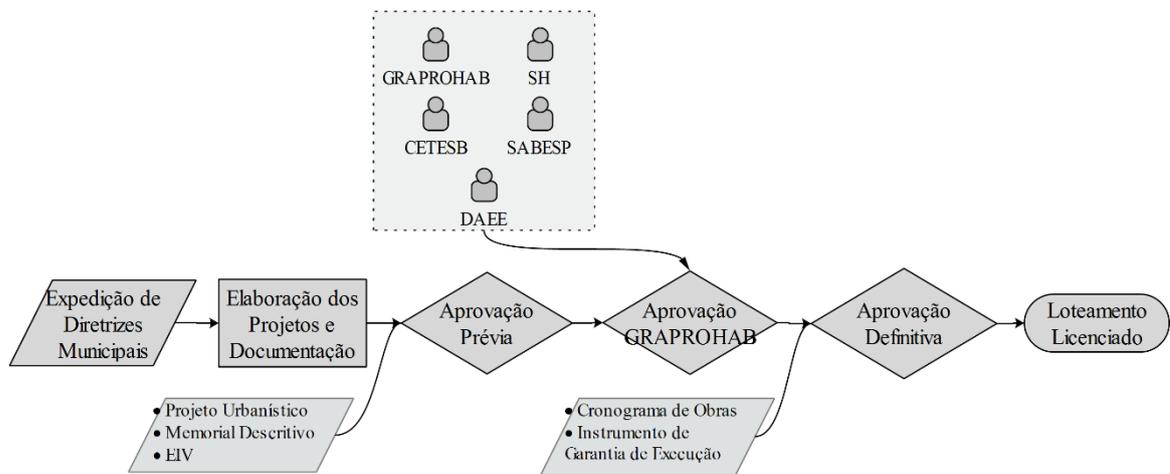
Para esta etapa, os municípios podem ter auxílio de um órgão colegiado ou conselho municipal. Tais associações podem contribuir na análise dos novos loteamentos, sobretudo, aqueles que têm a possibilidade de impactar negativamente na qualidade de vida, e nos custos de manutenção da infraestrutura devido à expansão horizontal da malha urbana.

De modo geral, durante a aprovação prévia, são analisadas a presença de áreas vulneráveis, de valor paisagístico natural, de proximidade a corpos d'água, a rodovias, a ferrovias, a adutoras, a redes de transmissão de energia, dentre outras informações referentes à infraestrutura urbana. Também fazem parte desta etapa a apresentação e a delimitação de áreas públicas, de sistemas de lazer, de áreas verdes, de áreas de preservação permanente e áreas destinadas a implantação de equipamentos públicos urbanos e comunitários.

Em cidades do Estado de São Paulo, após a aprovação por parte do município, o projeto do loteamento passa pela aprovação do GRAPROHAB. Nesta etapa o loteamento é analisado pela esfera pública estadual, onde o GRAPROHAB é constituído por um colegiado formado por membros da Secretaria de Estado de Habitação (SH), CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo), SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo) e DAEE (Departamento de Águas e Energia Elétrica). Todas as instruções e informações necessárias para a apresentação dos projetos nesta instância são descritos pelo manual de orientação para aprovação de projetos habitacionais, editado pelo próprio GRAPROHAB (GRAPROHAB, 2019).

Por fim, na aprovação definitiva, expedida pelo município, devem ser apresentados os projetos, memoriais e documentos aprovados pelo GRAPROHAB, além de um cronograma de execução das obras infraestruturais. Após a análise de tal documentação, o município deve expedir um alvará de execução ou decreto de aprovação de loteamento e, portanto, o empreendimento passa a estar aprovado, e pode ser registrado em Cartório de Registro de Imóveis. O processo completo de aprovação de loteamentos pode ser esquematizado conforme ilustra a Figura 3.

Figura 3 – Fluxograma do processo de aprovação de loteamento.



Fonte: Adaptado de Zambrano (2018).

É importante ressaltar sobre a possibilidade de alterações nos procedimentos apresentados neste capítulo, uma vez que, por se tratar de processos baseados em textos legislativos, são suscetíveis a revogações e atualizações. Além disso, como apresentado na Seção 2.2, o Estatuto da Cidade prevê que os Planos Diretores sofram revisões periódicas a cada 10 anos. No entanto, para o caso do município de São Carlos, seu plano diretor exige revisões a cada 5 anos, evidenciando a possibilidade de alterações no processo de licenciamento em um curto prazo.

2.4. Tecnologia na Esfera Pública

Ao se tratar do planejamento urbano, pesquisadores afirmam que o uso de tecnologia, em especial das Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs), pode contribuir para o processo de urbanização, podendo atuar desde o controle do desenvolvimento de infraestrutura urbana, até a implantação de políticas e estratégias de uso e ocupação do solo, a fim de garantir um desenvolvimento sustentável (WILLIAMSON *et al.*, 2010). Ainda, possui potencial na

colaboração dos cidadãos em decisões governamentais, de forma a promover maior engajamento cívico, paralelamente à educação digital e conscientização política da própria população (GUIMARÃES e ARAÚJO, 2018).

O *electronic land administration*, ou seja, o uso de TICs no planejamento urbano, possui um potencial de melhoria na colaboração governamental, sendo capaz de aumentar a participação popular em assuntos públicos, auxiliando no processo democrático, uma vez que aproxima a população das tomadas de decisão de ordem governamental (GAULD, GRAY e McCOMB, 2009). O conceito de *electronic land administration* pode ser generalizado a outros processos ou esferas governamentais, dando origem ao *electronic government* (e-government). Segundo Sun, Ku e Shih (2015), o e-government quando implementado aos serviços públicos, é capaz de potencializar o acesso à informação por parte da população, melhorando sua eficiência e efetividade através das TICs e, ainda, assegurando transparência e responsabilidade por parte da esfera pública.

Segundo Yaakup *et al.* (2007), o conceito de TICs é importante no suporte à procedimentos governamentais, pois permite o compartilhamento de dados, a integração e interoperabilidade de sistemas e ações mais objetivas. As TICs podem ser incorporadas como uma solução para aprimorar procedimentos governamentais, de forma a atender às necessidades da população, facilitar processos internos e o gerenciamento de tarefas.

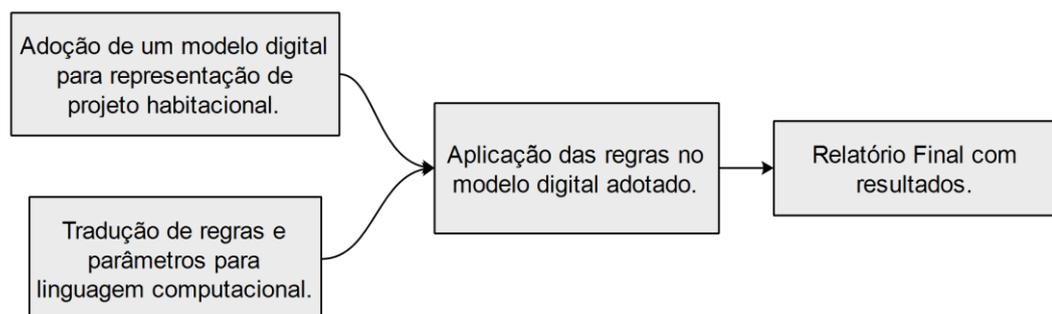
Com base nos conceitos de TICs, e no contexto de e-government, a adoção do conceito FLOSS (*Free/Libre/Open Source Software*) pode ser um recurso adicional ao integrar projetos e permitir colaborações entre duas organizações com diferentes interesses, como o setor público e universidades (WEN *et al.*, 2020). Tal abordagem se refere a programas computacionais que promovam seu uso sem restrição de usuários, e sejam desenvolvidos a partir de um método eficiente, colaborativo e aberto. Devido a tais características, a adoção de ferramentas FLOSS apresenta alta aplicação em procedimentos governamentais, pois promove facilidade em sua implantação e transparência quanto aos procedimentos, uma vez que seu código-fonte fica disponível para análise e estudos futuros (KON *et al.*, 2011).

Uma maneira específica de aplicar as TICs em processos de avaliação e licenciamento de projetos e de tomadas de decisão, sendo eles de ordem governamental ou não, é através de sistemas automatizados para verificação de requisitos. Segundo Borrmann e Rank (2010), tais sistemas consistem em uma ferramenta computacional que processa uma série de regras e parâmetros de entrada (parâmetros de projeto), os quais são verificados e comparados com valores predefinidos (parâmetros legais e normativos). Tais sistemas, eficazes pelo fato de checarem a compatibilidade das características de um projeto frente a uma ampla gama de

valores de referência, garantem qualidade, e redução nos custos e riscos de falha durante a fase de avaliação e licenciamento de projetos imobiliários (NAWARI, 2019). Tal processo, quando realizado de forma manual, se mostra dependente do conhecimento prévio dos profissionais, podendo acarretar na falta de uniformidade e aumento na taxa de erros durante o processo de avaliação (ZHANG *et al.*, 2013).

Segundo Eastman *et al.*, 2009, a aplicação de um sistema de verificação automatizado consiste na adoção prévia de um modelo para representar digitalmente o projeto habitacional. Em seguida, deve-se traduzir as regras e parâmetros aplicáveis para a linguagem computacional, permitindo que o sistema desenvolvido compare tais valores de referência com os parâmetros retirados do projeto. Desta forma, o sistema verifica o cumprimento das regras adotadas, gerando um relatório responsável por apresentar a conformidade do modelo submetido à verificação frente aos parâmetros adotados. Tais elementos que compõem um sistema de verificação automatizado são ilustrados na Figura 4.

Figura 4 – Elementos Básicos de um Sistema de Verificação Automatizado.



Fonte: Adaptado de Eastman *et al.* (2009).

Segundo Tan, Hammad e Fazio (2010), muitas das pesquisas encontradas na literatura relacionadas a verificação automatizada de requisitos são focadas em problemas específicos, sem buscar compreender como um todo o processo estudado, ou levar em consideração o contexto inserido. Portanto, é fundamental que os sistemas de gestão pública, principalmente aqueles destinados a empreendimentos habitacionais, incorporem a maior gama possível de parâmetros técnicos, normativos e legais, de forma a garantir que cada empreendimento seja analisado holisticamente.

A implantação de recursos computacionais e automatizados permite que o governo repense processos tradicionais, sendo capaz de articular de modo sustentável a demanda por recursos (OJO; DZHUSUPOVA e CURRY, 2016). Neste contexto, o uso das TICs pode ser a

base para a evolução dos modelos de governança, tornando suas operações e seus processos mais transparentes, participativos e democráticos (SILVA e FERNANDES, 2020).

2.5. Sistemas de verificação automatizados

Um dos casos de aplicação efetiva de sistemas para licenciamento eletrônico de empreendimentos imobiliários é o de Singapura, onde ocorreu por meio do apoio de seu poder público. Tal sistema, iniciado em 1995, e denominado CORENET (*Construction and Real Estate*), é composto por subsistemas que visam o compartilhamento de informações entre as partes envolvidas de um projeto construtivo (NARAYANSWAMY; LIU; AL-HUSSEIN, 2019). Singapura, a partir do CORENET e de seu primeiro sistema, voltado para apresentação de plantas bidimensionais para análise, foi capaz de reduzir o tempo de licenciamento de 102 dias para 38 dias. Em seguida, devido aos resultados satisfatórios, o sistema foi ampliado para que suportasse projetos em formato digital (BIM), reduzindo para 25 dias o período de aprovação por parte das autoridades (novaCITYNETS, 2017 apud. SHAHI; McCABE; SHAHI, 2019).

O subsistema e-Plan Check do CORENET (EASTMAN *et al.*, 2009), é o responsável pela verificação automatizada de requisitos, com foco em legislações e normas nacionais (XU; SOLIHIN; HUANG, 2004). A biblioteca FORNAX, responsável pela verificação de conformidade a partir de modelos definidos em formato IFC (*Industry Foundation Class*), garante a interoperabilidade dos modelos entre as partes envolvidas. O CORENET, por ter sido um projeto pioneiro, e ter obtido bons resultados, foi utilizado como piloto para aplicação em outros locais, como Noruega e Nova Iorque, a partir de sua adaptação diante as diferenças de requisitos e normas (NARAYANSWAMY; LIU; AL-HUSSEIN, 2019).

Dentre as produções científicas que buscaram desenvolver métodos para o uso de TICs no licenciamento de empreendimentos construtivos, Yaakup *et al.* (2007) foram um dos pioneiros. Os autores desenvolveram um sistema para aprovação do planejamento urbano local de Kuala Lumpur, na Malásia. A ferramenta foi desenvolvida seguindo os estágios identificados no processo local de aprovação de planejamento e de projetos construtivos, onde, para cada estágio, existem subsistemas responsáveis pela execução de funções específicas e pelo compartilhamento de dados entre os atores envolvidos no processo. De modo geral, o sistema foi concebido de forma a incorporar funções de compartilhamento de informação, avaliação de propostas, gerenciamento de documentos, monitoramento de progresso em atividades, além de uma plataforma geoespacial online. Tais funções foram aplicadas em sete subsistemas, como apresentado no Quadro 3. Os autores destacam a conectividade dos subsistemas desenvolvidos,

os quais funcionam de forma integrada, permitindo uma complementação mútua de acordo com suas respectivas funções. Além disso, foram desenvolvidos métodos baseados em SIG, que podem facilitar a análise técnica dos empreendimentos, além de possibilitar a consulta pública, de forma a recolher sugestões e correções através de um subsistema específico.

Quadro 3 – Subsistemas e funções que compõem a ferramenta proposta por Yaakup et al. (2007).

Subsistema	Funções
<i>Planning Authorization</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Processamento de propostas. - Auxílio aos candidatos sobre requerimentos. - Gerenciamento de registros. - Análises básicas a partir de informações disponíveis.
<i>Building Control</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Consulta de regulamentos e diretrizes. - Auxílio no processo de aprovação de construções. - Emissão de documentos de decisão.
<i>Enforcement</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Organização de atividades de fiscalização. - Registro de reclamações públicas.
<i>Information Kiosk</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Coleta de informações através da <i>web</i>. - Mapas interativos na forma de SIG. - Interação com usuário para coleta de sugestões ou correções.
<i>Meeting Presentation</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Realização de sessões de reunião para a provação de empreendimentos. - Exibição de documentos, mapas e dados.
<i>Document Processing</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Gerenciamento de documentos. - Atualização de registros. - Centralizar o armazenamento de documentos. - Fonte das informações do <i>Information Kiosk</i>.
<i>Geospatial and Planning Information</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Relação entre dados espaciais e seus atributos. - Suporte para os dados geoespaciais utilizados em outros subsistemas. - Facilita análises técnicas através de operações geoespaciais.

Fonte: Adaptado de Yaakup *et al.* (2007).

Neste estudo foi apontado que, além de aumentar a eficiência na avaliação de documentos, o sistema também apresentou facilidade operacional, melhoria no monitoramento e acompanhamento dos projetos, acesso rápido e centralizado à dados e facilidade no uso informações geoespaciais, tornando as tomadas de decisões pelas autoridades governamentais mais objetivas.

No estudo realizado por Melzner *et al.* (2013), normas de segurança para construções foram avaliadas, onde parâmetros associados a pontos críticos, como fendas e extremidades de laje, eram checados de forma automática. O objetivo desta produção foi auxiliar tomadores de

decisão na escolha de equipamentos e procedimentos de segurança para a realização de projetos construtivos.

Os parâmetros de segurança foram extraídos de normas norte-americanas e alemãs e aplicados em um estudo de caso, onde a checagem automatizada de requisitos era executada sobre o modelo BIM do objeto estudado. A ferramenta produzida, além de detectar os pontos potenciais de acidentes e risco de queda laboral na edificação, recomenda equipamentos e dispositivos de segurança. Os autores apontam que caso tal procedimento fosse realizado manualmente, custaria mais tempo, esforço laboral e, conseqüentemente, maior capital em relação à checagem por meio de uma ferramenta computacional operada por um único profissional (Melzner *et al.*, 2013).

De forma análoga ao objetivo da presente dissertação, Hussnain *et al.* (2016) desenvolveram um sistema de apoio visando o ganho de tempo e eficiência econômica na aprovação de projetos habitacionais de natureza privada em dois territórios do Paquistão (Punjab e Islamabad). Tal pesquisa, de acordo com as especificidades das áreas de estudo, foi motivada pela demanda por habitação, pela ocorrência de empreendimentos habitacionais privados irregulares, e pelo longo prazo para licenciamento destas obras (em torno de 13 meses). Os autores afirmam que o processo, até então realizado de forma manual e através de documentos em papel, se mostrava subjetivo e não transparente. Para isto, foi proposto um sistema a fim de reduzir o tempo e o custo despendidos na análise de documentos atrelados ao licenciamento de obras. Ao integrar rotinas computacionais ao processo de aprovação, o uso de ferramentas de código aberto (*open source*) pôde tornar este objetivo mais sólido, pois possibilita adaptações, modificações, e o desenvolvimento de novas versões, buscando o aperfeiçoamento e a reprodutibilidade da proposta para outras localidades.

Tal sistema, desenvolvido por Hussnain *et al.* (2016), foi baseado no uso de ferramentas de código aberto e SIG, as quais se integravam por meio de equações relacionadas ao tipo de projeto, área, localização, acesso à malha viária, dentre outros parâmetros. Desta forma, buscou-se verificar a conformidade a partir de dados de entrada fornecidos pelo usuário, como limites e subdivisões do empreendimento, abertura de vias previstas em projeto e instalações voltadas à população. A ferramenta foi desenvolvida com base pré-estabelecida de delimitações legais, limites de zoneamento e malha viária regional, possibilitando a avaliação de compatibilidade do empreendimento com o uso da terra adjacente, acessibilidade, mobilidade e requisitos legais. Assim, ao fim da checagem de requisitos, a ferramenta informa se o projeto em questão poderia ser licenciado ou não. Os autores afirmam que o uso de tal ferramenta pode tornar o processo de licenciamento mais rápido, mais transparente e mais compreensível. No entanto, deve-se

ressaltar a importância do capital humano adequado e da reconfiguração institucional, para que a implantação de sistemas automatizados se torne viável diante um processo geralmente bem estruturado, porém pouco eficaz.

Nawari e Alsaffar (2017), por sua vez, desenvolveram uma ferramenta para lidar com a alta demanda habitacional do Kuwait. No país em questão, todo processo de licenciamento por parte das autoridades é realizado manualmente, portanto os autores encontraram uma possível solução através da automatização do processo de auditoria dos requisitos de projeto. A proposta se trata da verificação automatizada de requisitos técnicos por meio de modelos BIM. Um dado modelo, contendo todas as informações necessárias do projeto, deve ser submetido às autoridades governamentais e, a partir de rotinas definidas para verificação com base em normas e legislações locais, o método gera um relatório estruturado. Os autores propõem o uso deste relatório como insumo para tomada de decisão por parte do poder público, decidindo deferir ou não o licenciamento para tal projeto. Os pontos positivos desta proposta envolvem a diminuição de retrabalho por parte da esfera pública, economizando tempo e recursos, uma vez que evita a necessidade de revisão do processo, e o torna mais objetivo. Ainda, a redução de tempo para aprovação e a garantia de cumprimento de normas e leis no licenciamento pode fornecer uma maior disponibilidade de habitações regulares.

Atualmente, sistemas de verificação automatizados são amplamente desenvolvidos e estudados para aplicações em BIM, e voltados ao setor privado, porém pouco é produzido ou estudado em relação à verificação legal de projetos para o setor público, tendo em vista seus distintos interesses. Fernandes, Formoso e Tzortzopoulos-Fazenda (2018) desenvolveram um método para verificação automatizada de requisitos legais em projetos de empreendimento habitacional de interesse social por meio de um modelo BIM. Tal método foi baseado na verificação de 45 regras divididas em cinco categorias (quantidade mínima de móveis; circulação mínima; dimensões mínimas; portas; e janelas, acabamentos e materiais), identificadas no Anexo I da Portaria nº 168, de 12 de Abril de 2013 (BRASIL, 2013), que dispõe sobre as diretrizes gerais para aquisição e alienação de imóveis por meio de transferência de recursos ao Fundo de Arrendamento Residencial no âmbito do Programa Nacional de Habitação Urbana, integrante do Programa Minha Casa, Minha Vida – PMCMV.

A partir da aplicação do método em dois empreendimentos selecionados do programa Minha Casa, Minha Vida, foi identificada uma redução no tempo de verificação de projeto, cuja economia poderia compensar o esforço utilizado para o desenvolvimento do modelo. Ainda, foi constatado o potencial de contribuição para o aumento da conformidade em relação aos requisitos legais e normativos, além de melhora na qualidade da apresentação de projetos

desenvolvidos pelo modelo BIM. Os autores ressaltaram a importância da interoperabilidade da ferramenta, mediante o grande número de agentes envolvidos em processos de licenciamento de EHIS, onde modelos em formato IFC, frequentemente utilizados como padrão em aplicações BIM, muitas vezes não garantem o detalhamento necessário para a aplicação do modelo proposto. Desta forma, o uso de um pacote adequado, proveniente de um fornecedor em comum, para todos os agentes envolvidos, poderia resolver esta questão. No entanto, não faria jus ao princípio de isonomia da administração pública, o qual não permite priorizar uma proposta em detrimento das demais. Ainda, foi ressaltado a presença de requisitos não expressos por variáveis quantificáveis, o que poderia permitir uma análise subjetiva de parte do texto normativo.

Por fim, o Quadro 4 apresenta resumidamente os estudos citados anteriormente, assim como suas principais características e aplicações.

Quadro 4 – Sistemas abordados e suas descrições.

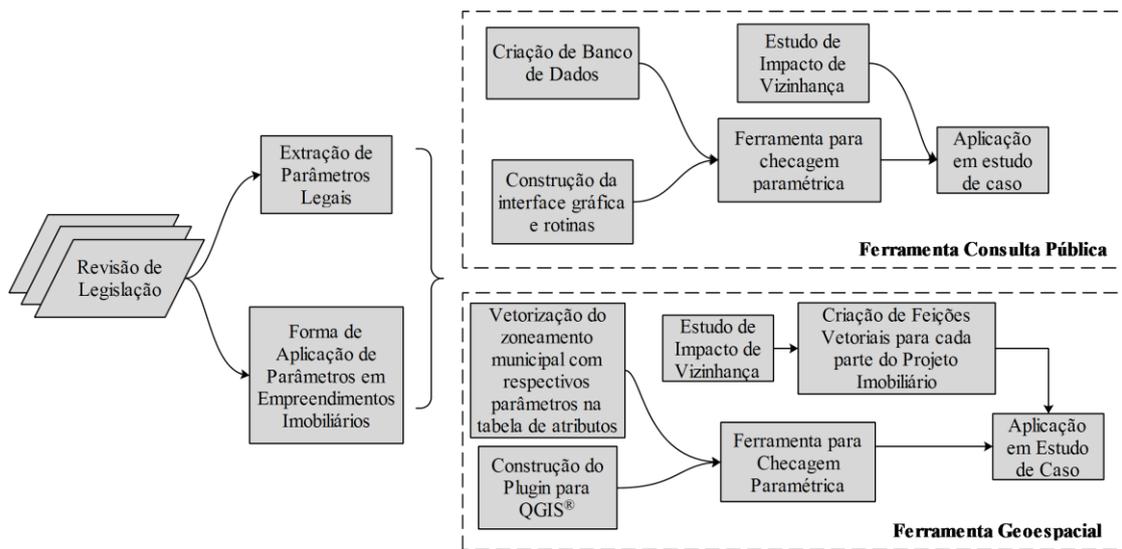
Autor	Descrição do Estudo
CORENET (1995)	Aplicado no governo de Singapura com o intuito da troca de informação e verificação de requisitos, onde obteve ao todo uma redução de 102 para 25 dias no tempo de aprovação.
Yaakup <i>et al.</i> (2007)	Desenvolvido para Kuala Lumpur (Malásia), transpassando por todas as etapas identificadas no processo de aprovação de planejamento e licenciamento de edificações, utilizando bases geoespaciais e centralização de informações.
Melzner <i>et al.</i> (2013)	Ferramenta de verificação de normas de segurança através de modelos BIM, detectando os pontos críticos de queda e recomendando equipamentos de segurança.
Hussnain <i>et al.</i> (2016)	Motivado pela demanda habitacional, foi desenvolvido um sistema baseado em ferramentas <i>open source</i> com o intuito de diminuir tempo e custos associados ao licenciamento de empreendimentos habitacionais de ordem privada.
Nawari e Alsaffar (2017)	Motivado pela demanda habitacional, foi desenvolvido um sistema automatizado baseado em BIM para auditoria de requisitos para licenciamento no Kuwait.
Fernandes, Formoso e Tzortzopoulos-Fazenda (2018)	Proposição da verificação automatizada de requisitos legais para EHIS no Brasil, baseado em modelo BIM.

Fonte: O autor.

3. MÉTODO

A metodologia proposta segue as etapas esquematizadas pelo fluxograma apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Fluxograma referente aos procedimentos metodológicos da presente pesquisa.



Fonte: O autor.

A presente pesquisa consiste no desenvolvimento de duas ferramentas, sendo cada uma delas voltadas para um fim específico. No entanto, existem etapas em comum no desenvolvimento de tais ferramentas. A partir de uma revisão da legislação, buscou-se verificar o conjunto de parâmetros aplicáveis ao licenciamento de empreendimentos imobiliários, além da forma como se relacionam e se aplicam no contexto municipal da cidade de São Carlos – SP. A partir destas etapas, ambas as ferramentas puderam ser desenvolvidas seguindo procedimentos distintos, sendo uma ferramenta voltada para consulta pública em etapas de participação popular, e uma ferramenta voltada para avaliação de parâmetros a partir de dados geospaciais. Ambas as ferramentas foram desenvolvidas em linguagem de programação Python. A ferramenta geoespacial, por fazer o uso de dados vetoriais, foi desenvolvida para a plataforma QGIS®.

De forma mais específica, ao desenvolver a ferramenta voltada para o uso consultivo da sociedade civil (Seção 3.3), primeiramente o Banco de Dados foi criado com uma estrutura de tabela padronizada para a caracterização de todos os parâmetros, a fim de possibilitar a integração com as rotinas de verificação da ferramenta. Concomitantemente à elaboração do Banco de Dados, e baseado nos padrões observados na etapa de revisão da legislação, a interface

gráfica e as rotinas que compõem a ferramenta computacional foram desenvolvidas. Por fim, os parâmetros identificados na primeira etapa foram utilizados para alimentação do banco de dados e, conseqüentemente, da ferramenta computacional, possibilitando a aplicação em um estudo de caso real baseado nos valores de projeto obtidos através do Estudo de Impacto de Vizinhança de um empreendimento no município de São Carlos – SP (Seção 3.2).

Para o Plugin desenvolvido para a plataforma de geoprocessamento QGIS® (Seção 3.4), realizou-se a vetorização do Zoneamento Municipal, estabelecido pelo Plano Diretor de São Carlos. Os parâmetros urbanísticos que caracterizam cada zona urbana, descrita pelo Plano Diretor, foram associados às feições através da tabela de atributos. Em seguida, o plugin foi criado com o auxílio de ferramentas do QGIS®, e baseado nas lógicas já desenvolvidas na criação da ferramenta anterior. O estudo de caso foi baseado na verificação paramétrica de empreendimentos imobiliários a partir da vetorização de cada parte componente de projeto (*i.e.*, lote, edificação, testada, área permeável, dentre outras partes essenciais). O plugin consiste no cálculo de áreas e distâncias baseadas nos arquivos vetoriais de projeto, para então definir os coeficientes e, por fim, verificar a conformidade de acordo com parâmetros legais, os quais foram previamente vinculados à tabela de atributos do zoneamento municipal.

3.1. Revisão da Legislação

Inicialmente, foram levantadas as principais legislações vigentes e aplicáveis ao processo de licenciamento de empreendimentos habitacionais, em âmbito federal, estadual e municipal (Quadro 5).

Quadro 5 – Legislações aplicáveis ao processo de licenciamento imobiliário em São Carlos.

Documentos	Abrangência	Descrição
Lei nº 6.766/1979	Federal	Lei de Parcelamento do Solo Urbano
Lei nº 10.257/2001	Federal	Estatuto da Cidade
Manual de Orientação: Aprovação de Projetos Habitacionais de 2019 – GRAPROHAB	Estadual	Propicia orientações necessárias para adequada elaboração e correto encaminhamento dos projetos
Lei nº 18.053/2018	Municipal	Plano Diretor em vigor do Município de São Carlos
Lei nº 15.958/2011	Municipal	Código de Obras e Edificações do Município de São Carlos

Fonte: O autor.

A partir da análise de tais legislações, é possível observar os critérios impostos por cada instância governamental, assim como a hierarquização de tais critérios. Durante tal revisão, os valores dos parâmetros também foram identificados para integração em ambas as ferramentas. Ou seja, a forma de aplicação dos parâmetros foi identificada a fim de possibilitar o desenvolvimento de rotinas que assegurem a aplicação da legislação. Os principais parâmetros e valores de referência, por sua vez, foram identificados a fim de possibilitar posterior alimentação dos sistemas com os valores de referência para o município de estudo. Ainda, a possibilidade de revisões nas legislações ao longo do tempo foi considerada, de forma que, caso ocorram mudanças nos parâmetros de referência, as ferramentas desenvolvidas sejam capazes de se adaptar, atualizando facilmente o conjunto de parâmetros armazenados.

Desta forma, para o desenvolvimento das ferramentas, foram definidos como objeto de estudo os parâmetros urbanísticos presentes ao longo do Plano Diretor Municipal de São Carlos. Portanto, os parâmetros utilizados na presente pesquisa são aqueles relacionados à ocupação do solo, que correspondem, segundo os Artigos 150º, 151º, 152º, 153º e 154º do Plano Diretor de São Carlos, a:

- 1- **Coefficiente de Ocupação (CO):** relação entre área de projeção da edificação no solo e a área do terreno de um lote;
- 2- **Coefficiente de Aproveitamento (CA):** relação entre área edificável e a área do terreno, podendo ser Coeficiente de Aproveitamento Básico (CAB) – relação entre a área edificável básica e a área do terreno – e o Coeficiente de Aproveitamento Máximo (CAM) – fator pelo qual a área do lote deve ser multiplicada para se obter a área máxima de edificação permitida neste mesmo lote, mediante Outorga Onerosa ou Transferência do Direito de Construir;
- 3- **Coefficiente de Permeabilidade (CP):** relação entre a área permeável e a área do terreno;
- 4- **Coefficiente de Cobertura Vegetal (CCV):** relação entre a área coberta por vegetação arbórea ou arbustiva de um determinado imóvel e a sua área total.

Assim como os coeficientes urbanísticos supracitados, o Plano Diretor também prevê limites para Área Mínima do lote e Testada Mínima. Todos os parâmetros e seus respectivos valores estão dispostos nas seções que compõem o Capítulo II (do zoneamento municipal) do Título II (do ordenamento territorial) do Plano Diretor de São Carlos. Cada seção do capítulo é responsável por descrever a zona, declarar os objetivos, listar os coeficientes urbanísticos e seus valores, além de apontar os instrumentos aplicáveis da política urbana. Os valores definidos

para cada parâmetro, segundo o Plano Diretor da Cidade de São Carlos (Lei nº 18.053/2018), são compilados no Anexo A (SÃO CARLOS, 2018).

Apesar dos parâmetros urbanísticos utilizados na presente pesquisa terem sido retirados do Plano Diretor Municipal, faz-se necessário a consulta de legislação complementar, a fim de identificar as áreas não computáveis para o cálculo do CO e CA. Para isto, foi consultado o Código de Obras – Lei nº 15.958, de 29 de dezembro de 2011 (SÃO CARLOS, 2011). Segundo tal legislação, as áreas não computáveis são:

- 1- Garagens e estacionamento de veículos e suas respectivas faixas de circulação e manobra;
- 2- Reservatórios, barriletes, casa de máquinas;
- 3- Piscinas;
- 4- Repetições das projeções de escadas, fosso de elevadores, dutos e *shafts*³.

Desta forma, as características dos parâmetros quantitativos presentes na legislação foram analisadas, permitindo a definição de propriedades que pudessem os caracterizar. Os parâmetros foram descritos segundo: magnitude do parâmetro; definição de limite superior ou inferior; e existência de pares restritivos (para o caso de um mesmo parâmetro possuir magnitudes diferentes para casos específicos). A partir de tal caracterização, torna-se possível estruturar os parâmetros numéricos adequadamente e desenvolver uma formatação apropriada para o banco de dados e para a tabela de atributos. Sendo assim, uma vez que o processo de licenciamento é compreendido e mapeado, e os valores de referência e parâmetros legais são levantados, o desenvolvimento das ferramentas se torna mais assertivo.

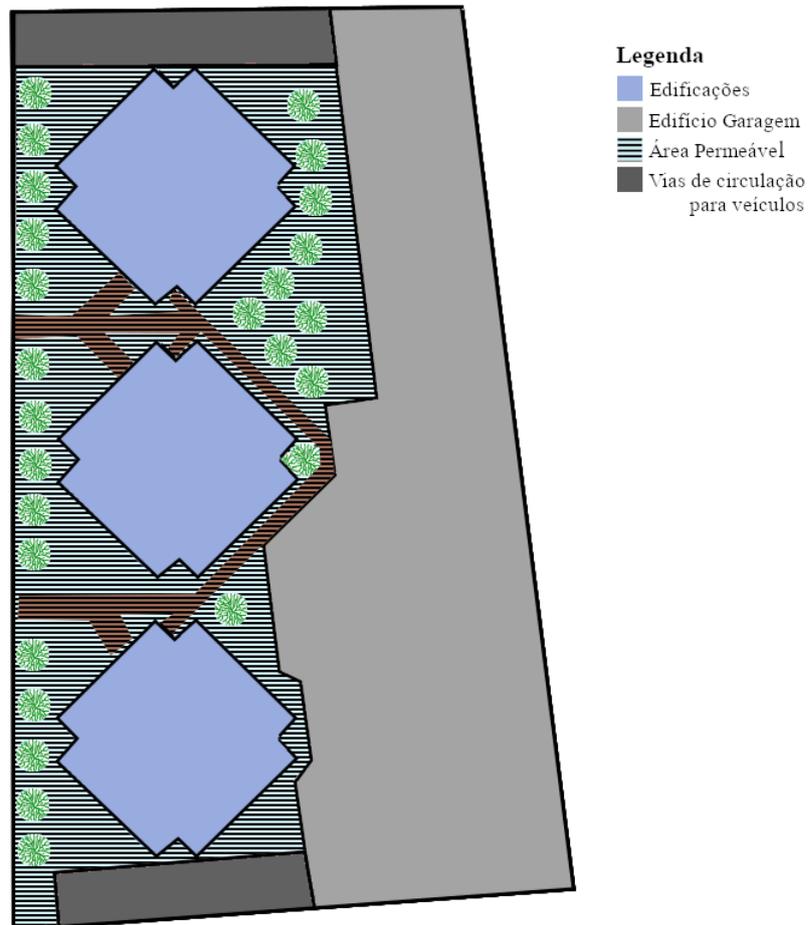
3.2. Empreendimento Objeto de Estudo

Com o intuito de validar a eficácia das ferramentas, um estudo de caso no município de São Carlos foi conduzido, de forma a simular os procedimentos de verificação de requisitos no processo de licenciamento de empreendimentos habitacionais. Para isto, foi selecionado o Empreendimento Parque dos Girassóis (Figura 6). Este projeto se trata de um empreendimento habitacional de interesse social (Minha Casa, Minha Vida - MCMV), a ser implantado em uma área de 6.113,72 m², no Bairro Jardim Bandeirantes, situado na Zona 2 (Ocupação Induzida), segundo o Plano Diretor Municipal. A Zona 2 está totalmente inserida entre a Rodovia Washington Luiz e a Ferrovia. Caracteriza-se pela disponibilidade de infraestrutura instalada, porém conta com sistema viário deficitário. Ainda, nesta área localizam-se diversos vazios

³ Este item deve ser computado apenas uma vez na área de projeção da edificação no solo.

urbanos passíveis de parcelamento ou edificação (SÃO CARLOS, 2018). Uma porção da Zona 2, que compreende os empreendimentos habitacionais abordados nesta pesquisa, é ilustrada na Figura 7 a fim de contextualizá-la espacialmente no município de estudo.

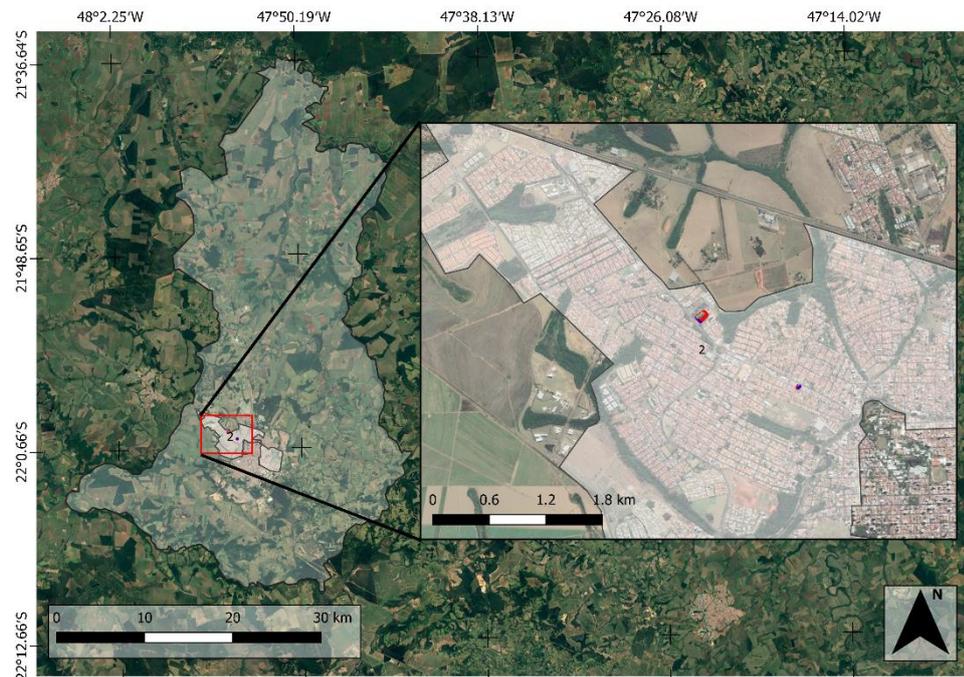
Figura 6 – Croqui do Empreendimento estudo de caso.



Fonte: Adaptado de EIV Parque dos Girassóis (2019).

O empreendimento Parque dos Girassóis conta com três torres, cada uma com 142 apartamentos, distribuídos em 17 andares, além de um pavimento superior voltado para atividades de lazer. Ainda, conta com um edifício garagem de quatro pavimentos (subsolo, térreo, sobressolo 1 e sobressolo 2). Segundo seu EIV, o Município de São Carlos absorve significativamente rápido a demanda por habitação e, desta forma, o empreendimento em questão se trata de uma alternativa habitacional. Ainda, é destacado que a ocupação da gleba não representa potenciais conflitos com o uso do solo (*i.e.*, perda de produção e empregos do setor agrícola).

Figura 7 – Contextualização espacial da Zona 2.



Fonte: O autor.

A fim de realizar a verificação paramétrica do empreendimento, mediante a ferramenta consultiva para a sociedade civil, os parâmetros numéricos de projeto foram retirados de seu EIV. Uma vez que tal documento contém todas as variáveis básicas de projeto, a sociedade, ao ser informada destes parâmetros, pode inseri-los na ferramenta e verificar a conformidade do empreendimento frente aos parâmetros urbanísticos aplicáveis. Tal processo permite independência cível quanto à formação de opinião, sem depender exclusivamente das informações provenientes da apresentação da obra pelo responsável durante as audiências públicas.

Ao realizar a verificação de conformidade por meio da ferramenta geoespacial, as feições de projeto foram vetorizadas a partir da planta apresentada pelo EIV. Cada componente do projeto foi vetorizado individualmente, de forma a discriminar as diferentes feições que o compõem. Desta forma, ao incluir o projeto vetorial do empreendimento na plataforma SIG escolhida (QGIS®), o plugin é capaz de realizar a verificação paramétrica através de operações realizadas sobre as feições de projeto, comparando os coeficientes calculados com os valores definidos na tabela de atributos do vetor de zoneamento do município.

3.3. Ferramenta Consultiva para Sociedade Civil

3.3.1. Desenvolvimento do banco de dados

De forma a armazenar os parâmetros de referência em uma estrutura de dados adequada, e integrá-los à ferramenta computacional, um banco de dados foi desenvolvido em linguagem SQL (*Structured Query Language*), a qual se trata de uma das principais linguagens de programação voltada ao gerenciamento de banco de dados.

A integração com a linguagem SQL foi escolhida a fim de possibilitar a padronização da organização dos dados utilizados como referência (parâmetros legais), e permitir um gerenciamento eficaz por meio da linguagem Python. A padronização da formatação de dados se deu a partir da definição de uma estrutura para as tabelas, a qual facilita a manipulação das informações armazenadas no banco de dados, para que estas sejam tratadas e operadas ao longo do funcionamento da ferramenta.

Ainda, uma vez que todas as rotinas são automatizadas com base na estrutura de dados predefinida em linguagem SQL, o Python, por se tratar de uma linguagem de programação orientada a objetos, permite a recuperação e manipulação das informações do banco de dados, além de seu processamento, de forma fácil e rápida.

3.3.2. Desenvolvimento da interface e funções da ferramenta

Para o desenvolvimento e programação da ferramenta proposta, foi utilizada a linguagem de programação Python, na sua versão 3.7. A escolha desta linguagem se deve pela possibilidade da criação de ambiente gráfico, possibilidade de integração com *software* SIG, da facilidade na integração e manipulação de banco de dados, e por se mostrar uma tendência na área de programação de computadores. Ainda, possui licença gratuita, portabilidade a diversas plataformas, disponibilidade de muitas bibliotecas, e conta com alto potencial e eficácia em aplicações científicas e problemas de engenharia, uma vez que suas características permitem interoperabilidade e fácil implementação em diversos sistemas (OLIPHANT, 2007). Para a criação do ambiente gráfico, foi utilizada a biblioteca Tkinter ("*Tk interface*"), a qual acompanha o pacote padrão do Python e possui métodos, funções, e objetos que permitem a elaboração de ambientes gráficos.

A ferramenta foi desenvolvida de forma a possibilitar sua adaptação à possíveis alterações em valores legais decorrentes da atualização da legislação urbanística, uma vez que todas as rotinas são automatizadas com base na estrutura de dados predefinida pela linguagem SQL (Seção 4.1.1). Ou seja, uma vez que todos os valores de referência permaneçam registrados

no banco de dados seguindo a formatação sugerida, a ferramenta é capaz de operar normalmente.

Com o objetivo de garantir tal formatação, foram criadas funções de gerenciamento de banco de dados que permitem inserir, alterar e excluir parâmetros. Desta forma, possíveis mudanças na legislação não irão gerar consequências graves e burocráticas no funcionamento da ferramenta, pois o próprio operador responsável poderá realizar a atualização dos valores legais manualmente, respeitando a estrutura de tabelas. Neste caso, é importante que o usuário final (sociedade civil) tenha acesso controlado ao conjunto de parâmetros, e que cada alteração no banco de dados seja registrada pelos órgãos públicos e informada para a sociedade, respeitando as regras do Plano Diretor do município.

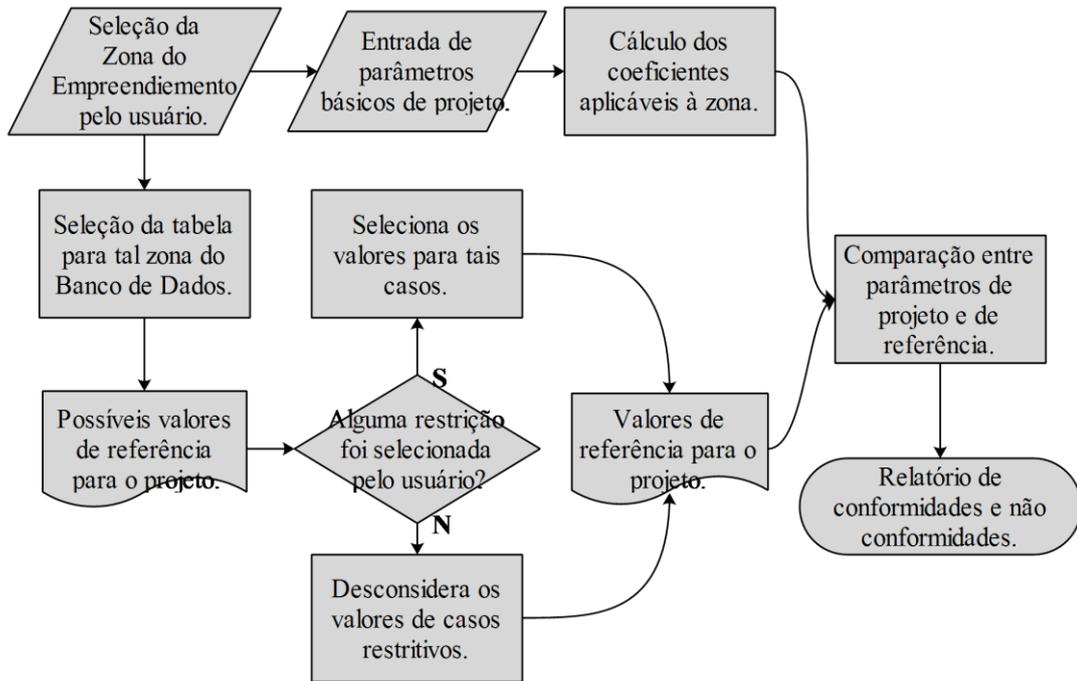
Estas possíveis mudanças tampouco alteram a interface gráfica e sua apresentação ao usuário, pois sintaxes baseadas em laços de repetição foram utilizadas para, a partir da recuperação das informações contidas no banco de dados, apresentá-las automaticamente da melhor forma. Os laços de repetição referem-se a estruturas responsáveis por repetir um mesmo comando por determinadas vezes. Neste caso, os laços são utilizados para apresentar cada componente da interface de acordo com o número de informações contidas no banco de dados. Ou seja, o ambiente gráfico da ferramenta é adaptável à quantidade de informações e parâmetros envolvidos em cada caso (diferentes zoneamentos, restrições legais e normativas).

Além das funções de inserção, alteração e exclusão de parâmetros, a ferramenta possui a função de checagem automática de requisitos, a qual é baseada em uma interface gráfica onde o usuário é guiado por janelas que solicitam a entrada de parâmetros de projeto para serem verificados a partir dos parâmetros legais incidentes no empreendimento em questão (armazenados e estruturados no banco de dados). O funcionamento deste sistema é ilustrado na Figura 8.

Primeiramente, o operador deve indicar a zona na qual o empreendimento se encontra, para em seguida realizar a entrada dos “valores básicos” de projeto. Entende-se por valores básicos aqueles expressos em unidade de área ou comprimento. Estes valores podem ser encontrados no Estudo de Impacto de Vizinhança, documento onde, dentre outras informações, encontram-se os parâmetros de projeto de empreendimentos potencialmente impactantes no meio ambiente e na infraestrutura, tal como área do lote, área construída, área permeável, dentre outros. Tais valores, portanto, são utilizados para o cálculo dos coeficientes e índices aplicáveis, permitindo a comparação com os valores definidos em legislação. A solicitação dos valores básicos (no lugar de inserir diretamente os coeficientes e índices) permite um melhor entendimento do processo pelas partes envolvidas, em especial a população, que possui direito

de participação em etapas de tomadas de decisão e, conseqüentemente, é público-alvo da ferramenta proposta.

Figura 8 – Fluxograma de funcionamento do sistema de verificação paramétrica da ferramenta consultiva para a sociedade civil.



Fonte: O autor.

Após o operador inserir os valores associados às variáveis básicas de projeto, a ferramenta calcula e expõe os valores dos coeficientes e índices aplicáveis ao empreendimento, de acordo com sua localização no zoneamento urbano. Nesta etapa, deve-se selecionar as possíveis restrições e especificações do empreendimento (como HIS ou localização em eixos viários, por exemplo), para que, no momento da comparação, a ferramenta selecione o valor adequado de determinados coeficientes, que tomam diferentes valores de acordo com determinadas características de projeto. Então, o programa solicita a confirmação para que tais índices sejam processados e confrontados com os valores de referências que constam na legislação.

Ao fim da verificação paramétrica, a ferramenta gera um relatório listando a conformidade ou não conformidade para cada parâmetro. Nos casos de não conformidade, as deficiências e suas respectivas magnitudes para o licenciamento sustentável do empreendimento são apresentadas em função de suas variáveis básicas, ou seja, em unidade de área (m²) ou comprimento (m). A escolha das variáveis básicas para apresentação final dos

resultados é justificada, mais uma vez, para que o entendimento se torne mais fácil, principalmente, pela parcela leiga presente nas audiências públicas, pois o entendimento de índices é mais abstrato em relação a compreensão de valores expressos em unidade de área ou comprimento.

Vale ressaltar que para o correto funcionamento de todas as funções, a estrutura definida para as tabelas do banco de dados deve ser respeitada, de forma que a ferramenta reconheça cada parâmetro e seus respectivos valores, limites e restrições. O uso das funções de inserir, excluir ou alterar os parâmetros garante a preservação da estrutura proposta e, conseqüentemente, o correto funcionamento da ferramenta.

3.4. Ferramenta Geoespacial

Mediante a necessidade de uma ferramenta computacional que auxilie o poder público no processo de licenciamento imobiliário, uma ferramenta geoespacial foi desenvolvida para este fim. Tal ferramenta, baseada em sistemas de informações geográficas, é responsável pela verificação de conformidade em projetos georreferenciados. Para sua aplicação, foi desenvolvida em linguagem de programação Python, e aplicada como um plugin para a plataforma QGIS[®], em sua versão 3.10.11.

3.4.1. Arquivos vetoriais

Para a criação e funcionamento da ferramenta geoespacial, fez-se necessária a vetorização dos dados a serem utilizados para a aplicação no município de São Carlos – SP. Desta forma, foi criado um arquivo vetorial para o Zoneamento Municipal, de acordo com o Anexo 2 (Zoneamento da macrozona e perímetro urbano), Anexo 3 (Zoneamento da macrozona urbana e das zonas passíveis de urbanização) e Anexo 4 (Zoneamento rural do Município) do Plano Diretor Municipal de São Carlos (SÃO CARLOS, 2018).

Para tal fim, a imagem do arquivo PDF, relativo a cada anexo, foi importada para a plataforma QGIS[®], e georreferenciada através da ferramenta “Georreferenciador”, cuja função é baseada em atribuir coordenadas geográficas para os pontos que compõem arquivos *raster*⁴. Para encontrar os pontos coincidentes entre a imagem e o mapa, foram importados dados secundários associados ao vetor de limite municipal de São Carlos e as imagens provenientes do Google Satélite. Desta forma, com a imagem do zoneamento localizada corretamente no espaço, foram criados polígonos para cada zona presente no município de estudo.

⁴ Arquivo em estrutura matricial, representados em células de tamanhos iguais, em formato de malha. Cada ponto de um arquivo *raster* contém determinada informação daquele ponto, como classe, elemento ou variações do mapa (IBGE, 2018).

Ao vetorizar o zoneamento municipal, na forma de arquivo *GeoPackage*, sua tabela de atributos foi criada a partir de colunas para cada parâmetro existente no município de estudo, e linhas para cada zona do município. Os coeficientes que não incidem sobre determinadas zonas receberam valor nulo (“NULL”). O arquivo de zoneamento é a base para que os projetos a serem analisados, após serem associados a uma Zona, sejam avaliados a partir dos respectivos parâmetros incidentes. A formatação da tabela de atributos é esquematizada conforme mostra, de forma generalizada, a Tabela 1.

Tabela 1 – Esquema de formatação da tabela de atributos para vetor de zoneamento.

	Par1	Par2	Par3	...	ParN
Zona1	Val11	Val12	Val13	...	Val1N
Zona2	Val21	Val22	Val23	...	Val2N
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
ZonaM	ValM1	ValM2	ValM3	...	ValMN

Fonte: O autor.

Nesta tabela, M representa o número de zonas do município, e N o número total de parâmetros existentes na legislação considerada, tendo em conta todas as zonas. O par *zona* e *parâmetro* que não existir (parâmetro não incidente em determinada zona) recebe, portanto, o valor *NULL*. Desta forma o algoritmo, após identificar a zona na qual o empreendimento se encontra (linha da tabela), é capaz de recuperar os valores de todos os parâmetros incidentes, excluindo as colunas que possuam valor nulo.

A escolha pelo uso de arquivos *GeoPackage* se deu pela facilidade de sua adoção generalizada, uma vez que foi projetado visando o uso de um único formato por *softwares* comerciais e de licença gratuita, além de ser baseado em estruturas SQLite (RASHIDAN e MUSLIMAN, 2015). Tais estruturas se tratam de uma biblioteca capaz de implementar mecanismos de bancos de dados SQL de forma concisa, rápida e independente (BHOSALE, PATIL e PATIL, 2015).

A partir da mesma metodologia de georreferenciamento, o empreendimento de estudo, apresentado na Seção 3.2, foi vetorizado de acordo com a planta apresentada em seu EIV. Cada componente foi vetorizado separadamente, e todas as feições foram armazenados em um arquivo de formato *Geopackage*. Ainda, as áreas não computáveis foram retiradas do vetor, de forma a não compor o cálculo dos coeficientes. Para isto, através do EIV do empreendimento, foi identificado onde se encontravam tais áreas e, ao destacá-las do vetor, foi realizada a conferência para verificar se as áreas computáveis estavam de acordo com o projeto.

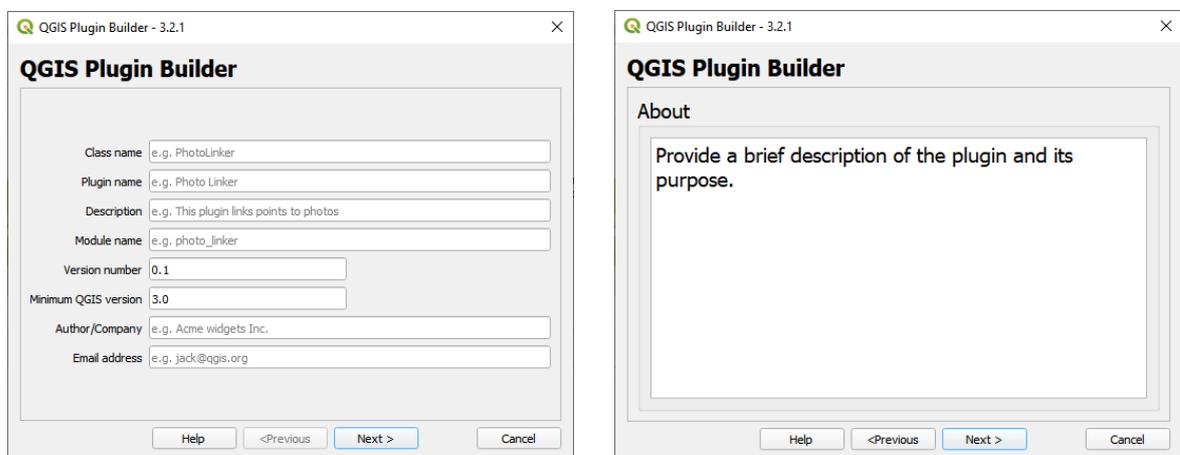
Para fins de exemplo, um empreendimento hipotético foi vetorizado em uma região específica do zoneamento (Eixo Estruturante), pois se trata de uma zona que se sobrepõem às demais, uma vez que é delimitada por vias de tráfego que cruzam mais de uma zona. Ainda, feições foram estipuladas de forma a forçar a não conformidade de determinados coeficientes, permitindo o entendimento de como a ferramenta se comporta frente a estes casos. O uso de um empreendimento hipotético para verificar não conformidades, ao invés de um projeto real, se deu pois os EIVs disponibilizados se tratam apenas de empreendimentos aprovados, ou seja, que seus projetos já foram adequados aos valores de parâmetros legais.

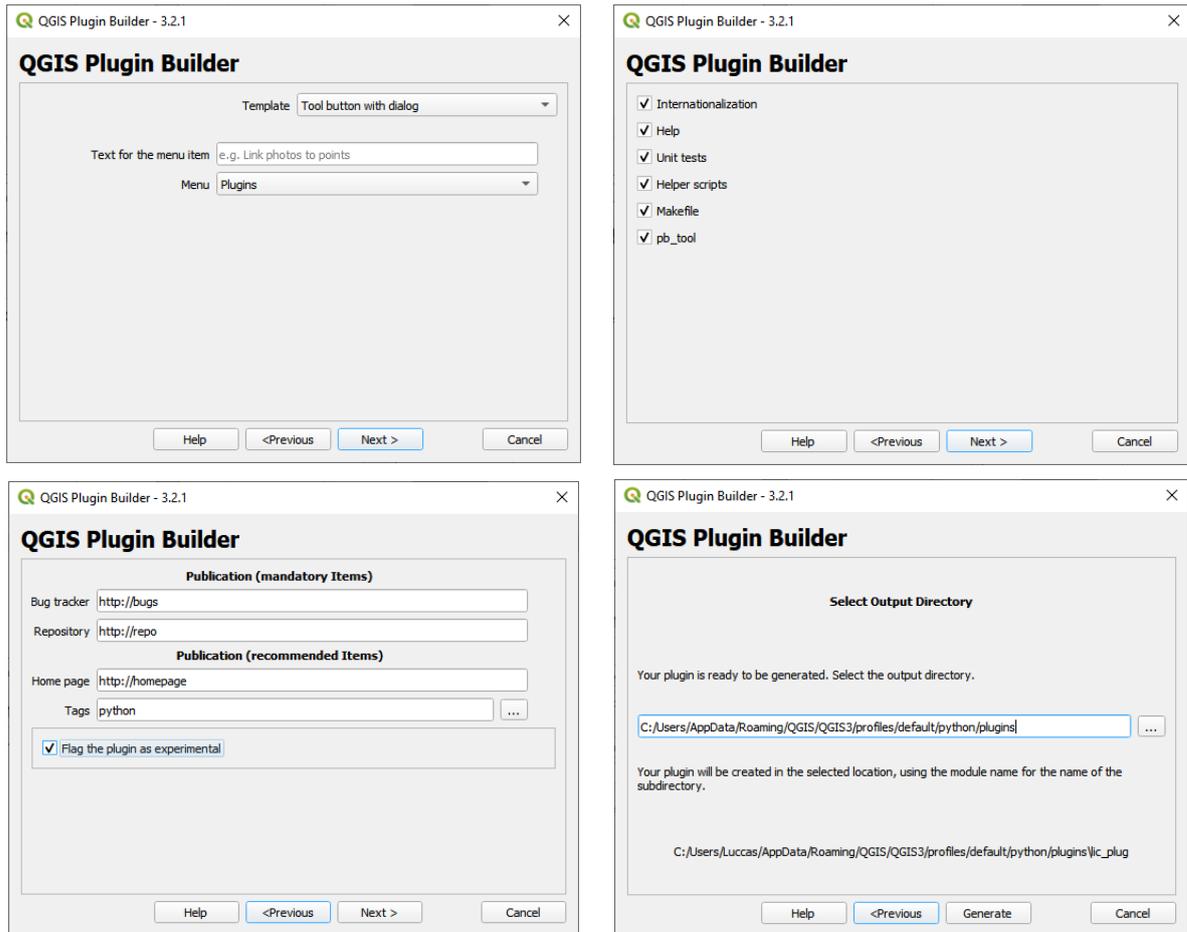
3.4.2. Plugin QGIS®

A ferramenta geoespacial foi elaborada para a plataforma QGIS®, utilizando seus recursos e extensões voltados para a criação de plugins. Primeiramente, foi instalado o plugin denominado “*Plugin Builder*”, responsável pela criação de todos os arquivos necessários e da estrutura básica para a criação de um plugin para o QGIS®. Sendo assim, tal extensão gera uma pasta contendo todos os arquivos básicos necessários para o funcionamento do programa. A Figura 9 ilustra cada passo a ser seguido para a criação da estrutura necessária para o desenvolvimento do plugin.

Em seguida, através do programa *OSGeo4W Shell*, que acompanha o pacote do QGIS®, um dos arquivos (*resources.qrc*) criados pelo *Plugin Builder* deve ser compilado, para que o plugin se torne ativo na plataforma do QGIS®. Para isto, basta caminhar até a pasta onde o plugin foi criado, através do comando *cd*, e em seguida utilizar o comando *pyrcc5 -o resources.py resources.qrc* para realizar a compilação dos arquivos.

Figura 9 – Criação de estrutura para plugin através da ferramenta *Plugin Builder*.

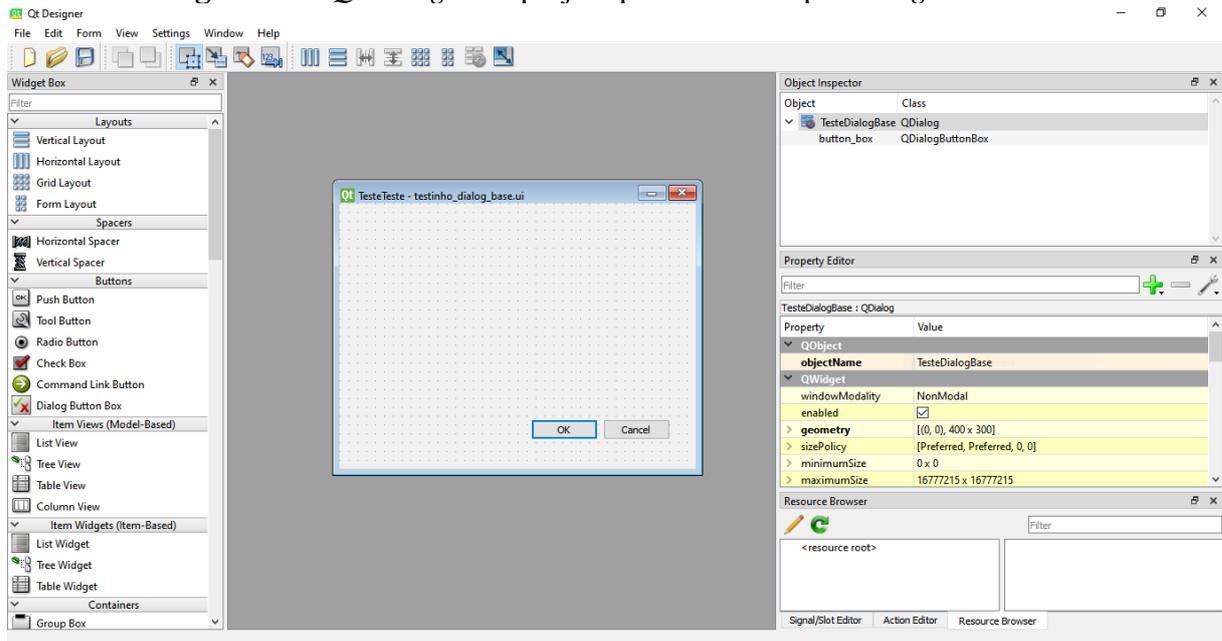




Fonte: Adaptado de QGIS *Plugin Builder* 3.2.1.

Após tais procedimentos, o plugin criado se torna ativo, e sua interface gráfica pode ser desenvolvida através da ferramenta *Qt Designer*, a qual também acompanha o pacote do QGIS®. Para isto, basta abrir o arquivo com extensão “.ui”, que se encontra dentre os arquivos que o *Plugin Builder* criou. A partir deste, o *Qt Designer* fornece múltiplas opções de *widets* (componentes da interface gráfica) que podem compor a área de interação do plugin a ser criado, de acordo com as funções e recursos desejados. A Figura 10 ilustra a interface do *Qt Designer*, assim como o projeto inicial padrão criado a partir do *Plugin Builder*.

Figura 10 – *Qt Designer* e projeto padrão criado pelo *Plugin Builder*.



Fonte: Adaptado de *Qt Designer*.

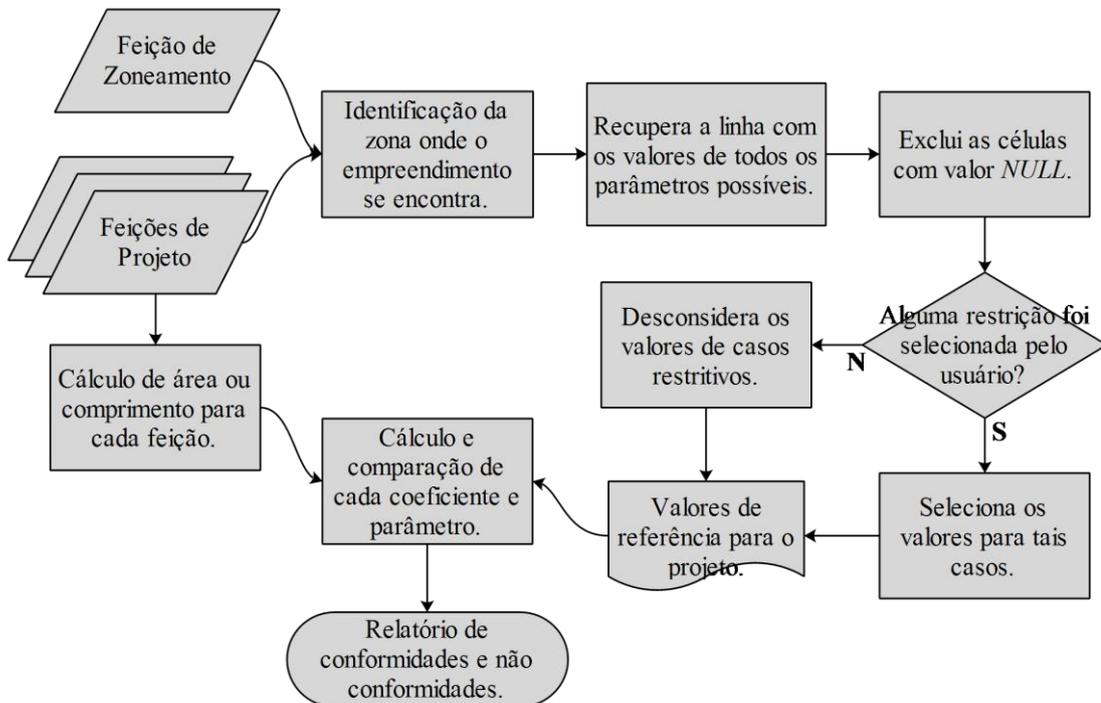
Ao montar a interface desejada para o plugin, é necessário criar as rotinas em linguagem Python. Para tal, o arquivo “.py”, que contém toda estrutura em Python do plugin deve ser modificada. Desta forma, baseada na função de verificação automatizada de requisitos da ferramenta desenvolvida anteriormente, o plugin foi criado para a lógica de arquivos vetoriais. Portanto, o plugin foi desenvolvido a partir do vetor de zoneamento de São Carlos (e sua tabela de atributos) como referência para verificar em qual zona o empreendimento se encontra, e se atende aos parâmetros definidos para tal zona. O funcionamento da verificação paramétrica desenvolvida para esta ferramenta é ilustrado na Figura 11.

O empreendimento, criado em estrutura *GeoPackage*, deve conter os vetores necessários para cada parte de seu projeto, como: polígono para lote, linha para testada, polígono para edificação, polígono para área permeável, e assim por diante.

A partir destas duas principais estruturas, Zoneamento e Empreendimento, o plugin solicita ao usuário que indique os arquivos associados a cada componente: de projeto e de referência (zoneamento). Ainda, o plugin fornece ao usuário a opção de marcar os possíveis casos restritivos, assim como descrito para a ferramenta consultiva. Desta forma, a partir das rotinas desenvolvidas em Python, o plugin verifica em qual zona o empreendimento se encontra, resgata os respectivos parâmetros de referência e, ao calcular automaticamente a área e comprimento dos componentes de projeto, computa todos os coeficientes aplicáveis. Desta forma, se torna possível a verificação de conformidade de acordo com os valores de referência incidentes para a zona. Por fim, indica ao usuário o mesmo relatório desenvolvido para a

ferramenta anterior, indicando as conformidades e, se for o caso, a magnitude das não conformidades.

Figura 11 – Fluxograma de funcionamento da verificação paramétrica da ferramenta geoespacial.



Fonte: O autor.

Tal ferramenta é interessante ao analisar os parâmetros a partir de um arquivo frequentemente utilizado em projetos, que são os arquivos vetoriais. Ainda, permite integrar o projeto imobiliário à outras informações geoespaciais, possibilitando diversas análises urbanas levando em consideração sua posição geográfica e as características de seu entorno.

4. RESULTADOS

4.1. Ferramenta Consultiva para Sociedade Civil

O presente capítulo descreve os resultados obtidos para cada módulo que compõe a ferramenta consultiva para a sociedade civil. Vale ressaltar que a população deve ter acesso apenas ao módulo de verificação paramétrica, apresentado na Seção 4.1.3. Uma vez que os dados utilizados, tanto para referência quanto para consulta, são de domínio público, deve ser considerado a segurança da informação. Portanto, os módulos de gerenciamento, responsáveis por alterações nos parâmetros de referência, devem ser operados exclusivamente pelo poder

público, atuando como o fornecedor de diretrizes transparentes e confiáveis para a sociedade, e ficando responsável pela segurança dos mesmos.

A fim de demonstrar a funcionamento da ferramenta, esquemas de interação com as janelas do programa, para cada função, serão apresentadas nas próximas subseções.

4.1.1. Formatação de Banco de Dados

A partir da escolha do SQL como linguagem para o sistema de banco de dados, foi definida uma estrutura que possibilitasse o armazenamento dos parâmetros legais de referência utilizando um mesmo padrão organizacional. Para isto, foram definidos atributos que pudessem descrever corretamente os parâmetros envolvidos no licenciamento de empreendimentos habitacionais e, associado a cada atributo, foram definidos seus respectivos tipos de dados. A partir destas definições, torna-se possível a inclusão de todos os parâmetros e a execução das rotinas desenvolvidas em linguagem Python, voltadas para a realização da checagem paramétrica automatizada, e para a inserção, alteração e exclusão de parâmetros. A estrutura de dados desenvolvida para a caracterização dos parâmetros é descrita no Quadro 6.

Quadro 6 – Estrutura do Banco de Dados para parâmetros do Plano Diretor.

Atributo	Tipo de Dado	Descrição
Primary Key	INT	Chave primária da tabela, ou seja, é a coluna responsável por diferenciar suas linhas e, portanto, não pode ser nula ou possuir valores repetidos, ainda tem como função principal estabelecer relações entre linhas de diferentes tabelas de um banco de dados (HEUSER, 1998).
nome	VARCHAR(255)	Recebe os nomes de cada parâmetro.
valor	FLOAT	Recebe a magnitude associada a cada parâmetro.
MaxMin	BIT(1)	Indica se o valor associado a um parâmetro se trata de um limite superior (o qual recebe valor 1) ou inferior (o qual recebe valor 0).
restricao	VARCHAR(255)	Recebe o nome dado a restrição de um par de parâmetros ⁵ .

Fonte: O autor.

⁵ A fim de exemplo: para um par de parâmetros “Coeficiente de Aproveitamento” e “Coeficiente de Aproveitamento para Eixo Viário”, o atributo “nome” recebe exatamente o nome completo dos parâmetros, enquanto a coluna “restrição” fica vazia (NULL) para o primeiro caso e recebe o valor “Eixo Viário” para o segundo caso.

A coluna “restricao” foi adotada para as tabelas do Banco de Dados com o intuito de identificar uma duplicidade de parâmetros, os quais não são aplicados para as mesmas condições. Desta forma, durante a execução da ferramenta, dependendo das condições e características do empreendimento, a restrição é responsável por atribuir corretamente o valor do parâmetro para cada caso. Para isto, computacionalmente, os parâmetros devem ser inseridos em sequência (assim como são apresentados no Plano Diretor) durante a criação das tabelas, onde o par mais genérico é incluído primeiro (com campo “restricao” vazio), seguido de seu par mais restritivo (com campo “restricao” preenchido). Tal fator não é suscetível a erro quando a criação de tabelas é realizada por meio da própria ferramenta, através do sistema apresentado na Seção 4.1.4. Ao adicionar novos parâmetros, por meio de tal sistema, deve-se indicar a presença de par mais restritivo e, em caso positivo, o nome e valor de tal restrição é incluída simultaneamente ao seu par menos restritivo, respeitando a ordem computacional de armazenamento de dados.

De forma prática, cada atributo que descreve os parâmetros representa uma coluna de cada tabela do banco de dados, enquanto o conjunto de parâmetros para cada zona compõem as linhas desta tabela. Ainda, a presente pesquisa sugere que cada tabela seja responsável pelo armazenamento do conjunto de parâmetros aplicáveis para cada zona definida no Capítulo II (Zoneamento Municipal) do Plano Diretor de São Carlos (SÃO CARLOS, 2018), uma vez que este fornece diretrizes e parâmetros específicos segundo o zoneamento do município. Ou seja, cada tabela que compõe o banco de dados descreve uma zona específica do município.

4.1.2. Interface Gráfica

A partir do Tkinter, o qual se trata de um pacote padrão da linguagem Python voltado para o desenvolvimento de interfaces gráficas (GRAYSON, 2000), a ferramenta de uso consultivo para a sociedade civil foi desenvolvida. Desta forma, todas as rotinas de verificação paramétrica, de gerenciamento de banco de dados, assim como a interface gráfica da ferramenta, foram desenvolvidas pela linguagem de programação Python.

Para compor a ferramenta proposta, quatro classes foram criadas, sendo cada uma responsável por uma função específica do programa e seu respectivo *layout*. Tais funções, indicadas pelos botões no menu principal (Figura 12.a), são: checagem paramétrica, inserir novo conjunto de parâmetros, alterar parâmetros e excluir conjunto de parâmetro. As classes desenvolvidas para inserir e excluir parâmetros são direcionadas para o conjunto de valores presentes em cada tabela, ou seja, ao inserir novos parâmetros, uma nova tabela é criada no banco de dados – indicando o conjunto de valores de uma nova zona ou nova legislação – e ao

excluir, uma tabela existente é deletada – indicando que os parâmetros de determinada zona não existem mais ou determinada legislação foi revogada. Em contrapartida, a classe desenvolvida para alterar parâmetros é direcionada à alteração individual, permitindo a rápida escolha e alteração necessária de um parâmetro por vez.

A ferramenta e suas classes foram criadas a partir do princípio da adaptabilidade, ou seja, caso as legislações urbanísticas sofram alterações, a ferramenta funcionará normalmente, e sua interface gráfica se adaptará aos novos parâmetros presentes no banco de dados. Isto se deve ao tipo de método utilizado para a listagem de botões, caixas de texto, e rótulos, baseado em estruturas de lista e em laços de repetição.

Ao determinar o número de tabelas (ou parâmetros) presentes no banco de dados, e conseqüentemente na legislação, o algoritmo do programa cria *listas* de mesmo tamanho, as quais são utilizadas como argumento de um laço de repetição (*for*), responsável por exibir os *widgets* ao usuário. Desta forma, todos os métodos e funções da ferramenta foram desenvolvidos com base no conteúdo do banco de dados. Portanto, antes de criar elementos e janelas, o algoritmo define parâmetros previamente, a fim de modelar os objetos e métodos da ferramenta, permitindo sua adaptação e funcionamento independente do conteúdo presente na legislação e no banco de dados.

4.1.3. Verificação Paramétrica

Ao optar pela ação “Selecionar uma Zona” do menu principal (Figura 12.a), a janela ilustrada na Figura 12.b é exibida. De acordo com a localização do empreendimento em relação ao zoneamento municipal, o operador deve selecionar a Zona na qual o mesmo se encontra, para que seus respectivos parâmetros sejam resgatados do banco de dados e utilizados como referência para a checagem paramétrica.

A fim de exemplificação, serão utilizados valores retirados do Estudo de Impacto de Vizinhança do Empreendimento Habitacional apresentado na Seção 3.2, o qual é situado na Zona 2 (Ocupação Induzida) do município de São Carlos – SP. Tais parâmetros são (EIV, 2019):

- 1- **Área Total:** 6.113,72 m²
- 2- **Área Construída Computável:** 21.308,58 m²
- 3- **Projeção da Área da Edificação:** 3.935,30 m²
- 4- **Área Permeável:** 1.952,15 m²
- 5- **Área Coberta por Vegetação:** 0 m²
- 6- **Testada do Lote:** 151,96 m

Figura 12 – Tela principal do programa e de seleção de zona para checagem de parâmetros.

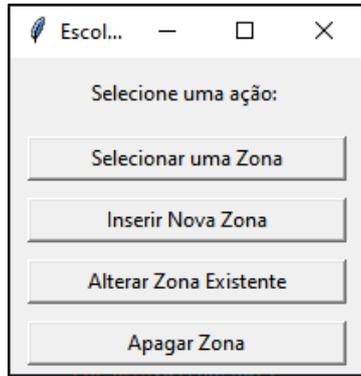


Figura 12.a – Tela principal do programa.



Figura 12.b – Seleção de Zonas para checagem paramétrica.

Fonte: O autor.

Ao selecionar a Zona em questão, caixas de texto são criadas para que o usuário insira os parâmetros básicos do empreendimento (Figura 13.a). Após a inserção de todos os parâmetros requisitados, a ferramenta calcula os índices e coeficientes aplicáveis ao projeto segundo o Plano Diretor, onde seus respectivos valores são apresentados para o usuário. Além disso, caixas de seleção (*Checkboxes*) são criadas para que as possíveis restrições possam ser indicadas (Figura 13.b).

Como tal empreendimento se trata de uma Habitação de Interesse Social (HIS), tal restrição deve ser selecionada, como mostra a Figura 13.b, para que a ferramenta libere os campos específicos à HIS e bloqueie os pares menos restritivos, a fim de evitar erros por parte do operador, propiciando um ambiente gráfico intuitivo e visando o correto entendimento dos processos que a ferramenta executa.

Apenas para fins ilustrativos, a Figura 13.c mostra o *layout* da janela caso ambas as restrições fossem selecionadas⁶. Para o caso de uso residencial unifamiliar, que indica qual Coeficiente de Aproveitamento deve ser adotado, não existe nenhuma alteração aparente no *layout*. No entanto, para os casos que tal restrição é adotada, tal informação é utilizada para que

⁶ Ilustração apenas para fins demonstrativos das dinâmicas da interface gráfica, uma vez que o empreendimento se enquadra apenas como HIS, porém não se enquadra como Uso Residencial Unifamiliar. A restrição “Uso Residencial Unifamiliar” da Figura 13.c não foi adotada para as demais etapas, tampouco para a geração do relatório final.

o programa resgata os valores corretos do banco de dados para a verificação automatizada, uma vez que o Coeficiente de Aproveitamento pode variar em função do tipo de uso da edificação.

Figura 13 – Exemplo da fase de checagem de parâmetros para Zona 1.

Figura 13.a – Nenhuma Restrição selecionada.

Figura 13.b – Primeira restrição selecionada.

Figura 13.c – Ambas restrições selecionadas.

Fonte: O autor.

Para o caso da Zona 2, os tipos de coeficientes de aproveitamento são: coeficiente de aproveitamento para o caso de uso residencial unifamiliar; Coeficiente de Aproveitamento Básico, que representa o valor máximo que o empreendimento pode atingir sem contrapartidas; e Coeficiente de Aproveitamento Máximo, que representa o valor máximo que o empreendimento pode atingir mediante aplicação de instrumentos urbanísticos, como a outorga onerosa do direito de construir e a transferência do direito de construir (tal informação é considerada para a elaboração do relatório final).

Os coeficientes de referência apresentados pelo Plano de Diretor do Município de São Carlos para a Zona 2, e seus respectivos valores, são (SÃO CARLOS, 2018):

- 1- **Coefficiente de Ocupação:** 70%
- 2- **Coefficiente de Permeabilidade:** 15%
- 3- **Coefficiente de Aproveitamento:** 1,4 para uso residencial unifamiliar
- 4- **Coefficiente de Aproveitamento Básico:** 2,0
- 5- **Coefficiente de Aproveitamento Máximo:** 3,5
- 6- **Lote Mínimo:** 200 m² e 160 m² para HIS
- 7- **Testada Mínima:** 10 m e 8 m para HIS

Após a confirmação dos índices e coeficientes por parte do operador, uma mensagem é exibida, indicando o fim da verificação automatizada, e a criação do relatório (Figura 14.a). Ainda, caso a ferramenta identifique erros no preenchimento, avisos de alerta surgem na tela para que o operador os corrija, a fim de evitar possíveis erros sistemáticos de operabilidade ou possíveis falhas do sistema, os quais poderiam acarretar no licenciamento errôneo e um processo de aprovação ineficaz. A Figura 14.b ilustra a mensagem para o caso de algum campo não estar preenchido, e a Figura 14.c ilustra o caso de algum caractere não ser puramente numérico (letras ou símbolos).

Figura 14 – Mensagens de Alerta.

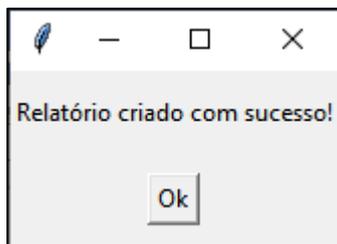


Figura 14.a – Mensagem de êxito para checagem e geração de relatório.

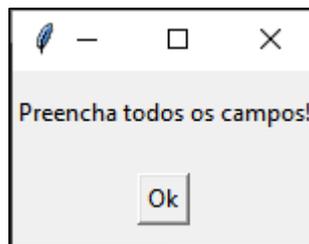


Figura 14.b – Mensagem de alerta para o caso de campos não preenchidos.

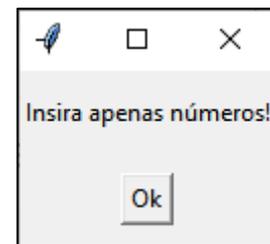


Figura 14.c – Mensagem de alerta para o caso de caracteres não numéricos inseridos.

Fonte: O autor.

Para o caso da checagem paramétrica do empreendimento em questão, o licenciamento pode ser concedido a partir da aplicação da outorga onerosa do direito de construir, uma vez que o Coeficiente de Aproveitamento do empreendimento encontra-se entre o valor básico e o máximo previsto no Plano Diretor. Casos de outorga onerosa do direito de construir são aplicados quando há um acréscimo no potencial construtivo, estipulado por lei, de determinada zona municipal. Quando tal acréscimo é executado acima do coeficiente de aproveitamento básico, deve haver o pagamento de uma contraprestação, calculada de acordo com o

estabelecido em lei municipal específica (SOUSA, 2016). O relatório final gerado pela ferramenta, no licenciamento do EHIS Parque dos Girassóis, é apresentado no Quadro 7.

Quadro 7 – Relatório de aprovação para o EHIS Parque dos Girassóis.

O parâmetro Coeficiente de Ocupação [%] está de acordo com a legislação!

O parâmetro Coeficiente de Permeabilidade [%] está de acordo com a legislação!

O parâmetro Coeficiente de Aproveitamento está de acordo com a legislação mediante Outorga Onerosa do Direito de Construir ou Transferência do Direito de Construir!

O parâmetro Área do Lote para HIS [m²] está de acordo com a legislação!

O parâmetro Testada para HIS [m] está de acordo com a legislação!
Todos os parâmetros estão de acordo com a legislação!

PROJETO APROVADO

Fonte: O autor.

A fim de exemplificar a aplicação de restrição e da não aprovação de projeto, foi adotado um empreendimento hipotético do tipo HIS, localizado na Zona 6B – Regulação e Ocupação Controlada de Média Densidade, e os seguintes valores (também hipotéticos):

- 1- Área Total:** 5.000,00 m²
- 2- Área Construída Computável:** 18.000,00 m²
- 3- Projeção da Área da Edificação:** 3.000,00 m²
- 4- Área Permeável:** 1.900,00 m²
- 5- Área Coberta por Vegetação:** 1.100,00 m²
- 6- Testada do Lote:** 20,00 m

Para tal caso, a ferramenta cria caixas de seleção para as restrições de HIS e Eixo Viário (Figura 15). Nesta zona as restrições são tratadas de forma diferente, pois ao passo que na Zona 2 existia mais de um Coeficiente de Aproveitamento – sendo um utilizado para uso residencial unifamiliar e os outros dois (Básico e Máximo) para os demais empreendimentos – na Zona 6B, o Coeficiente de Aproveitamento apresenta um valor genérico e um restritivo para o caso de o empreendimento estar localizado em eixos viários arteriais tipo I.

Figura 15 – Exemplo da fase de checagem de parâmetros para Zona 6B.

Parâmetro	Valor
<input type="checkbox"/> Eixo Viário	
<input checked="" type="checkbox"/> HIS	
Coeficiente de Ocupação [%]	60.0
Coeficiente de Permeabilidade [%]	38.0
Coeficiente de Cobertura Vegetal [%]	22.0
Coeficiente de Aproveitamento	3.6
Coeficiente de Aproveitamento para Eixo Viário	3.6
Área do Lote [m ²]	5000.0
Área do Lote para HIS [m ²]	5000.0
Testada [m]	20.0
Testada para HIS [m]	20.0

Fonte: O autor.

A partir dos valores básicos definidos, não conformidades são identificadas para o Coeficiente de Ocupação, Coeficiente de Aproveitamento e Coeficiente de Permeabilidade. A fim de melhor representar a magnitude do não cumprimento de parâmetros, a apresentação no relatório é dada em função da diferença entre áreas. Ou seja, quando identificado algum parâmetro que não cumpra os requisitos legais, é efetuada a diferença entre o coeficiente presente na legislação e o calculado, para que então seja realizada a multiplicação entre tal diferença e a área do empreendimento. Desta forma, a magnitude da não conformidade é expressa em unidades de área (m²) ou comprimento (m), fazendo com que o entendimento por parte da população se torne facilitado, uma vez que é mais fácil tratar e discutir a respeito de áreas do que das relações que os coeficientes representam. Para este caso hipotético, o relatório final é apresentado no Quadro 8.

Tal relatório apresenta dados em unidade de área ou comprimento, onde a diferença entre o valor legal e o valor de projeto, matematicamente, é dada em função do dividendo das equações que descrevem cada coeficiente. Ou seja, a magnitude da não conformidade é dada em função da área construída, área da projeção da edificação, área de cobertura vegetal e área permeável, associados, respectivamente, aos índices CO, CA, CCV e CP. Desta forma, o entendimento do que está em desacordo com a legislação torna-se mais intuitivo e palpável

quanto a magnitude e a natureza da não conformidade. Ao fim do relatório, uma mensagem final é apresentada indicando a aprovação do projeto perante o cumprimento de todos os parâmetros, ou da não aprovação, caso seja constatado a não conformidade de um ou mais parâmetros.

Quadro 8 – Relatório de aprovação para o EHIS Parque dos Girassóis.

```
O parâmetro Coeficiente de Ocupação [%] NÃO está de acordo com a
legislação!
A diferença é de 500.00 m2.

O parâmetro Coeficiente de Permeabilidade [%] NÃO está de acordo
com a legislação!
A diferença é de 100.00 m2.

O parâmetro Coeficiente de Cobertura Vegetal [%] está de acordo
com a legislação!

O parâmetro Coeficiente de Aproveitamento NÃO está de acordo com a
legislação!
A diferença é de 13000.00 m2.

O parâmetro Área do Lote para HIS [m2] está de acordo com a
legislação!

O parâmetro Testada para HIS [m] está de acordo com a legislação!

Existe(m) parâmetro(s) em desacordo com a legislação!
##### PROJETO NÃO APROVADO #####
```

Fonte: O autor.

4.1.4. Inserir Nova Zona

Para o caso da inserção de novas Zonas (botão “Inserir Nova Zona” da Figura 12.a), o primeiro passo é nomeá-la (Figura 16.a). Em seguida, uma tabela com o nome atribuído (nome da zona) é criada no banco de dados, e então, a tela ilustrada na Figura 16.b é exibida ao operador, contendo todos os campos necessários para o correto preenchimento da tabela recém criada. Os campos a serem preenchidos são: nome do parâmetro, valor do parâmetro, limite máximo ou mínimo (na forma de *radiobuttons* ou botões de opção) e o par restritivo, também na forma de botões de opção. Este último item indica o caso de um mesmo parâmetro possuir outro valor para casos específicos e, quando ativada pela opção “Sim”, habilita o preenchimento do nome e do valor de tal restrição (Figura 16.c).

Para a exemplificação de forma prática do resultado do preenchimento de restrições, a Figura 15 ilustra tais casos para a Zona 6B onde, no momento em que os parâmetros “Coeficiente de Aproveitamento”, “Área do Lote” e “Testada” foram registrados, o primeiro

foi inserido com restrição de nome “Eixo Viário” e os outros dois com nome de “HIS”. O preenchimento destas restrições permite a criação automática das caixas de seleção no momento da checagem paramétrica.

Figura 16 – Janelas para a inserção de novas zonas.

Figura 16.a – Tela para inserção do nome da Zona.

Figura 16.b – Tela para inserção dos parâmetros e suas respectivas restrições, caso houver.

Figura 16.c – Exemplo dos campos habilitados para o caso de restrições.

Fonte: O autor.

Para gravar cada parâmetro (e sua restrição, se for o caso) o botão “Inserir” deve ser pressionado. Com isso, os valores são armazenados temporariamente e as caixas de texto são resetadas, a fim de possibilitar a entrada dos demais parâmetros para a zona. Ao fim da inserção de todos os parâmetros, o botão “Gravar” finaliza o processo e grava o conjunto de parâmetros, até então armazenados temporariamente, de forma definitiva na tabela criada para o banco de dados.

De forma análoga ao momento da checagem de parâmetros, nesta etapa também são mostradas mensagem de alerta caso exista alguma incompatibilidade no preenchimento. A Figura 17.a indica a mensagem para o caso de o campo destinado ao nome do parâmetro não ser preenchido. A Figura 17.b indica o caso do preenchimento por caracteres não numéricos no campo do valor do parâmetro.

Figura 17 – Mensagens de alerta para a inserção de parâmetros.

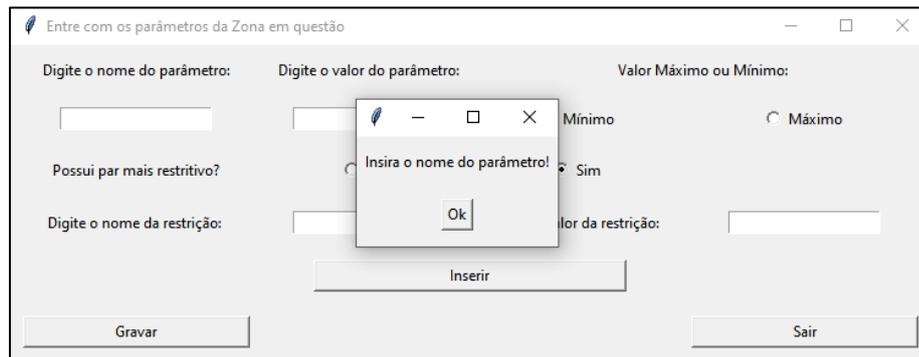


Figura 17.a – Mensagem de alerta para o caso do nome do parâmetro não preenchido.

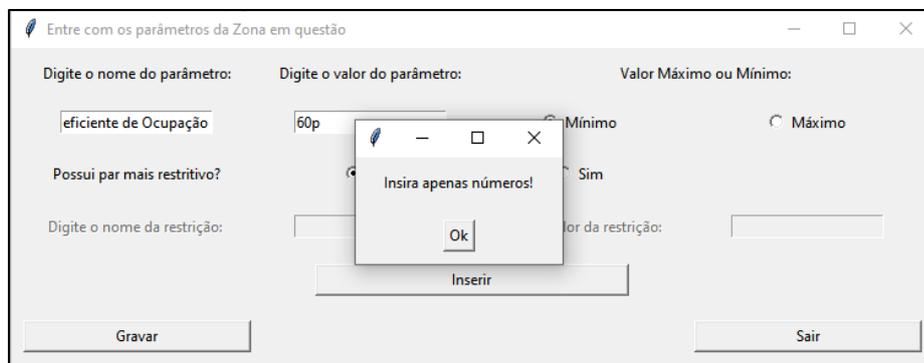


Figura 17.b – Mensagem de alerta para o caso de caracteres não numéricos.

Fonte: O autor.

A Figura 18.a ilustra o preenchimento correto para o caso de um parâmetro possuir restrição. Quando este caso ocorre, ao selecionar a opção inserir, duas linhas são inseridas na tabela do banco de dados, indicando uma linha para o par genérico, e outra para o restritivo do parâmetro em questão. Ao pressionar o botão “Gravar” o processo é finalizado e a mensagem ilustrada na Figura 18.b é exibida.

Figura 18 – Preenchimento correto de parâmetros e mensagem de êxito.

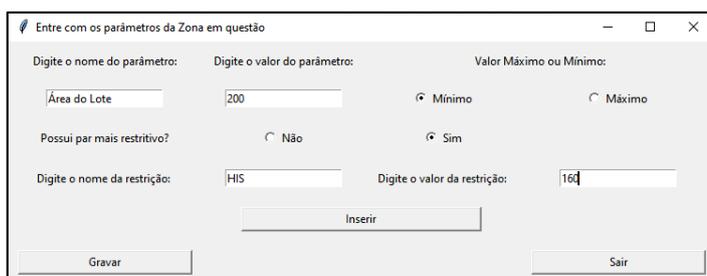


Figura 18.a – Preenchimento correto de parâmetro e respectivo par mais restritivo

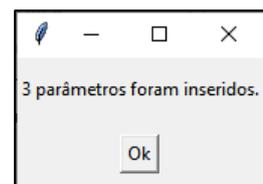


Figura 18.b – Mensagem de êxito para inserção de parâmetros

Fonte: O autor.

4.1.5. Alterar Parâmetros

A terceira função da ferramenta é a alteração dos parâmetros de determinada zona. Tal ação foi desenvolvida para o caso de possíveis atualizações ou revisões nas legislações então vigentes para o município. Sendo assim, ao selecionar a opção “Alterar Zona Existente” do menu ilustrado na Figura 12.a, o programa direciona o operador para a seleção da Zona que sofrerá alterações (Figura 19.a). Após a seleção da Zona (para fins de exemplificação foi escolhida a Zona 1) são listados todos os parâmetros registrados para tal Zona (Figura 19.b), onde aquele que sofrerá alterações deve ser selecionado.

Após a seleção do parâmetro a ser alterado (para fins de exemplificação foi escolhido o Coeficiente de Ocupação) a tela ilustrada na Figura 19.c é exibida com todos os campos preenchidos com os valores atuais do parâmetro. Para alterá-lo, basta apagar o valor desejado diretamente na caixa de texto, ou alterar o botão de opção (para mudar o tipo de limite), e clicar no botão “Atualizar”. Por fim, a mensagem ilustrada na Figura 19.d aparecerá na tela indicando a atualização do parâmetro com êxito.

Figura 19 – Telas destinadas à alteração de parâmetros.

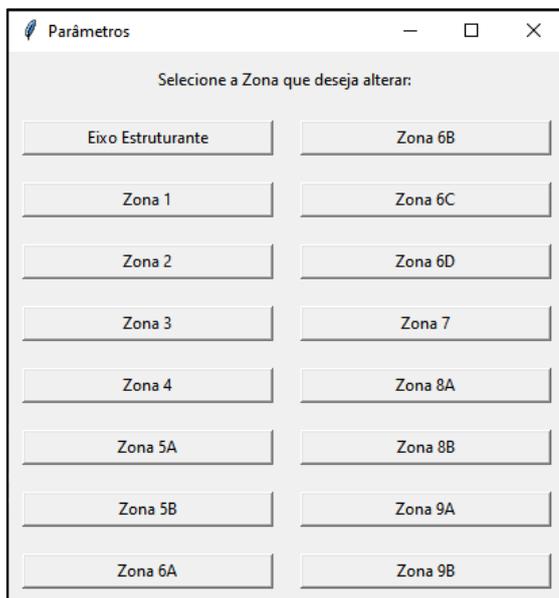


Figura 19.a – Tela para seleção da Zona



Figura 19.b – Tela para seleção do parâmetro

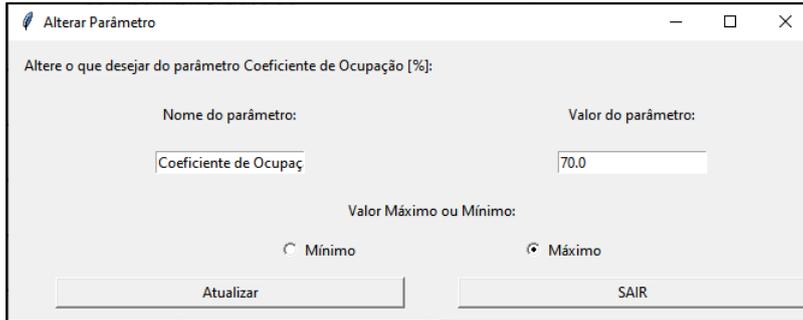


Figura 19.c – Tela para alteração do parâmetro

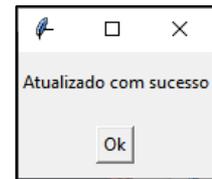


Figura 19.d – Mensagem de êxito

Fonte: O autor.

4.1.6. Apagar Zona

Por fim, a última função definida, responsável por apagar conjunto de parâmetros é iniciada ao pressionar o botão “Apagar Zona” do menu ilustrado na Figura 12.a. A Figura 20.a ilustra a tela que surge ao selecionar tal opção. Nesta janela são listadas todas as zonas cadastradas no banco de dados e, ao selecionar uma delas, surge uma mensagem de confirmação de intenção (Figura 20.b). Ao confirmar, a zona é deletada do banco de dados (Figura 20.c). Uma vez que a zona é apagada por meio da ferramenta, todos seus parâmetros também o são, e sua recuperação não é mais possível.

Figura 20 – Telas destinadas à exclusão de Zona.

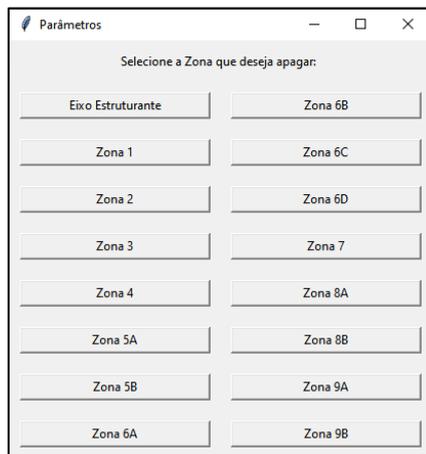


Figura 20.a – Tela para seleção da Zona

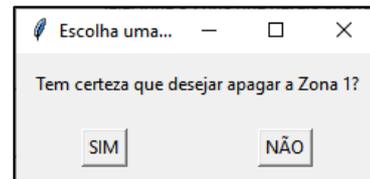


Figura 20.b – Mensagem de confirmação antes de excluir a Zona

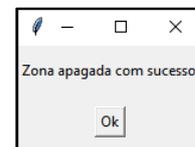


Figura 20.c – Mensagem de êxito

Fonte: O autor.

4.2. Ferramenta Geoespacial

O presente capítulo descreve os resultados obtidos para cada componente que compõe a ferramenta geoespacial, desenvolvida para a plataforma QGIS em sua versão 3.10.11. Tal ferramenta foi concebida como de uso do setor público, de forma a compor um sistema

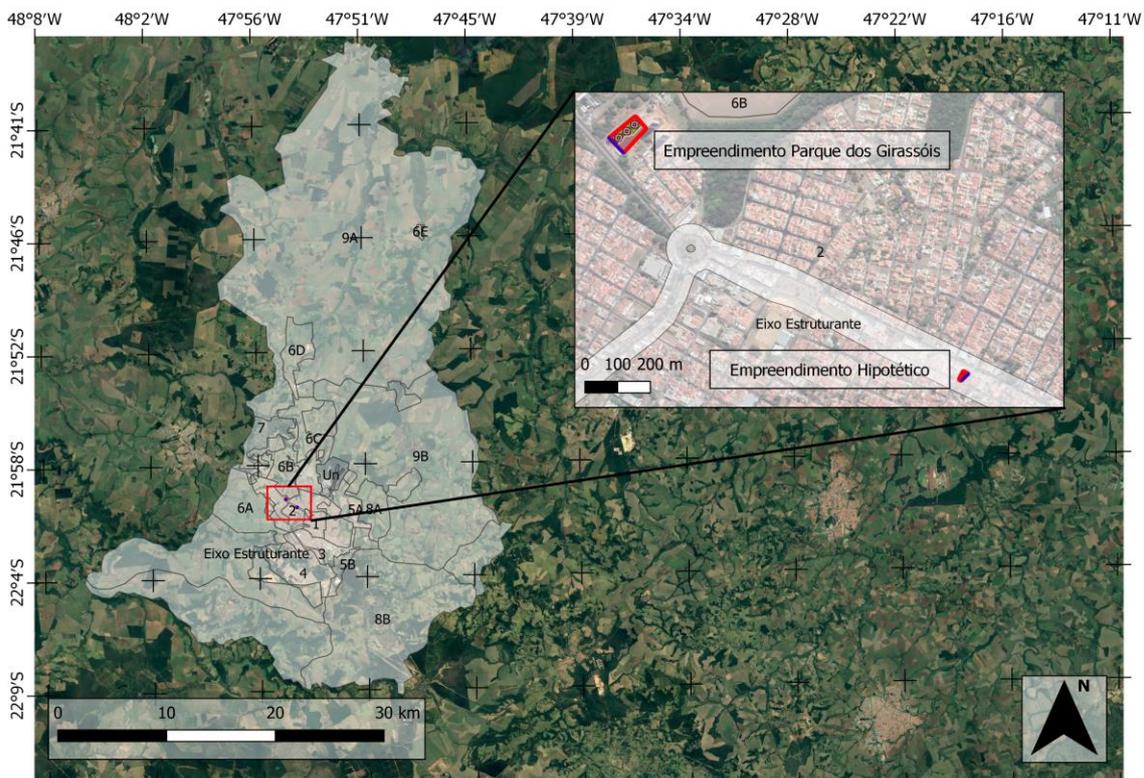
georreferenciado de empreendimentos imobiliários, possibilitando diversos estudos urbanos. O plugin desenvolvido se comporta como uma ferramenta capaz de auxiliar no processo de licenciamento imobiliário, verificando a conformidade dos coeficientes urbanísticos de projeto segundo o Plano Diretor do Município de São Carlos.

A fim de demonstrar o funcionamento do plugin, o empreendimento descrito na Seção 3.2 foi utilizado, além de um empreendimento hipotético, capaz de verificar especificidades da ferramenta geoespacial, assim como seu comportamento mediante determinadas situações.

4.2.1. Arquivos Vetoriais

De forma a compor a base para o funcionamento do plugin, o Zoneamento Municipal de São Carlos foi vetorizado. A Figura 21 ilustra o resultado de tal vetorização, além de destacar as zonas nas quais os empreendimentos aplicados no estudo de caso se encontram. Ao analisar o zoneamento, é possível verificar zonas separadas geograficamente, porém que recebem a mesma classificação (e consequentemente os mesmos parâmetros). Para isto, foi utilizado polígonos multipartes, que associam polígonos separados espacialmente como uma única feição, de modo a constar apenas uma linha na tabela de atributos. O Anexo B apresenta a tabela de atributos do vetor de zoneamento em sua integridade.

Figura 21 – Vetorização do Zoneamento Municipal de São Carlos.



Fonte: O autor.

As partes componentes do empreendimento Parque dos Girassóis foram vetorizadas de acordo com a planta disponibilizada em seu EIV. Para compor o empreendimento por completo, foram vetorizadas as feições poligonais de lote, edificação, garagem e área permeável, além da feição linear para testada. Ao vetorizar as feições de edificação, de acordo com o formato das torres do empreendimento e descontadas das áreas não computáveis, as mesmas foram replicadas para cada pavimento, de forma que a ferramenta possa calcular a área total construída de acordo com o número de pavimentos. A Figura 22 ilustra o resultado da vetorização do EHIS Parque dos Girassóis, onde a Figura 22.a apresenta uma representação 2.5D do projeto, e a Figura 22.b ilustra as feições utilizadas para a verificação automatizada de requisitos.

Figura 22 – Arquivos vetoriais do Empreendimento Parque dos Girassóis.



Figura 22.a – Representação 2.5D do Empreendimento Parque dos Girassóis.



Figura 22.b – Arquivos vetoriais do Empreendimento Parque dos Girassóis e áreas computáveis de edificação.

Fonte: O autor.

De forma análoga, um empreendimento hipotético (diferente do apresentado no estudo de caso da ferramenta para consulta da sociedade civil) foi vetorizado sobre a zona “Eixo Estruturante”, a fim de assegurar o funcionamento da ferramenta em zonas com características mais específicas. Tal zona foi vetorizada de forma sobreposta às demais, por representar áreas delimitadas por vias de tráfego que contemplam mais de uma zona. Para fins demonstrativos, a edificação do empreendimento foi considerada como uma torre de 15 pavimentos, forçando a ferramenta à identificação de não conformidades. Tal empreendimento é ilustrado na Figura 23, onde, de forma análoga às representações do EHIS Parque dos Girassóis, a Figura 23.a apresenta uma representação 2.5D do projeto, e a Figura 23.b ilustra as feições utilizadas para a verificação automatizada de requisitos do empreendimento hipotético.

Figura 23 – Vetores do Empreendimento Hipotético.

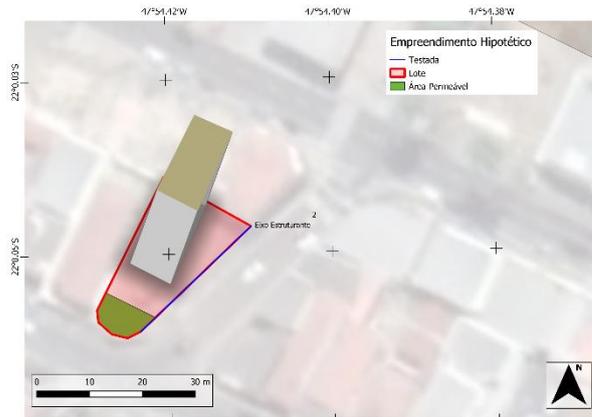


Figura 23.a – Representação 2.5D do Empreendimento Parque dos Girassóis.



Figura 23.b – Arquivos vetoriais do Empreendimento Parque dos Girassóis e áreas computáveis de edificação.

Fonte: O autor.

4.2.2. Plugin QGIS®

A interface do plugin desenvolvido em linguagem Python para a plataforma QGIS®, a fim de verificar automaticamente a conformidade de projeto frente aos parâmetros descritos no Plano Diretor de São Carlos, é ilustrada na Figura 24. Sua interface foi inteiramente criada através da ferramenta *Qt Designer*, a qual acompanha o pacote do QGIS®.

Figura 24 – Interface Plugin Geoespacial.

Interface do Plugin Geoespacial LicPlugin. A interface é uma janela com o título "LicPlugin" e um ícone de lupa. Ela contém os seguintes campos e controles:

- Componentes do Empreendimento:**
 - Lote:** Dropdown menu com o valor "PqGirassois Lote [EPSG:31983]".
 - Edificação:** Dropdown menu com o valor "PqGirassois Edif [EPSG:31983]".
 - Área Permeável:** Dropdown menu com o valor "PqGirassois AreaPerm [EPSG:31983]".
 - Área Verde:** Dropdown menu vazio.
 - Testada:** Dropdown menu com o valor "PqGirassois Testada [EPSG:31983]".
- Selecione as restrições:**
 - HIS
 - Unifamiliar
 - Uso Misto
- Selecione o Zoneamento:** Dropdown menu com o valor "Zoneamento_SaoCarlos [EPSG:31983]".
- Botões "OK" e "Cancel" na base da janela.

Fonte: O autor.

Os parâmetros Área Permeável e Área Verde apresentam a opção de não serem associados a nenhum arquivo vetorial, pois nem todas as zonas, e nem todos os empreendimentos, possuem tais características. No entanto, o lote, a testada, e a edificação são os parâmetros básicos necessários para a verificação de conformidade perante o licenciamento imobiliário, tomando como base os parâmetros do Plano Diretor Municipal de São Carlos. Ainda, cada arquivo é acompanhado de um ícone, que representa sua geometria (ponto, linha ou polígono), e de um código, que representa a o tipo de Sistema de Referência de Coordenadas (SRC). O Quadro 9 compila os dados utilizados como entrada na ferramenta em questão.

Quadro 9 – Dados utilizados para o funcionamento da ferramenta geoespacial.

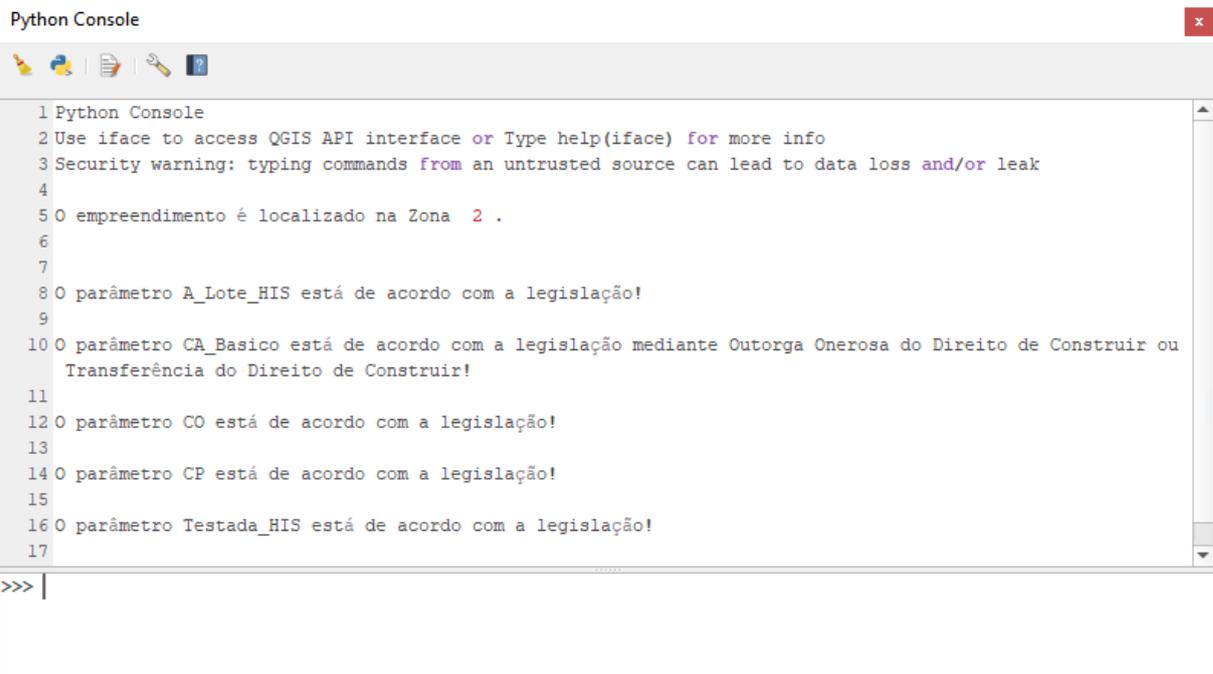
Dado Vetorial	Tipo	Descrição
Lote		Vetor poligonal que representa o lote do empreendimento.
Área computável de edificação		Vetor poligonal contendo apenas a área computável edificada, de acordo com a legislação incidente.
Área Permeável		Vetor poligonal para área permeável. Não é um dado obrigatório.
Área de Cobertura Vegetal		Vetor poligonal para área coberta por vegetação. Não é um dado obrigatório.
Testada		Vetor linear para identificação da testada do lote.
Zoneamento Municipal		Vetor poligonal do zoneamento municipal. Deve conter, em sua tabela de atributos, todos os parâmetros para todas as zonas.

Fonte: O autor.

Ao configurar os parâmetros do plugin, e selecionar o botão “Ok”, primeiramente, a ferramenta identifica em qual zona do município o lote se encontra. Em seguida, é realizado o cálculo das áreas e comprimentos das feições, para em seguida computar cada coeficiente. Para o caso do Coeficiente de Ocupação, a ferramenta realiza uma operação de união das feições de edificação, de modo a calcular apenas a área de sua projeção sobre o lote. Para o coeficiente de aproveitamento, a ferramenta calcula a área de cada feição e realiza a somatória destas, de modo a computar a área construída total.

Ao calcular todos os coeficientes aplicáveis, o plugin recupera os dados da tabela de atributos associados à linha da zona em que o empreendimento se encontra, para então realizar sua função de verificação paramétrica. Ao fim da checagem, é gerado um relatório, o qual é mostrado ao usuário diretamente no Terminal Python do QGIS®. Para o caso do Empreendimento Parque dos Girassóis, o relatório é ilustrado na Figura 25.

Figura 25 – Relatório gerado pelo Plugin para o Empreendimento Parque dos Girassóis.



```

Python Console
1 Python Console
2 Use iface to access QGIS API interface or Type help(iface) for more info
3 Security warning: typing commands from an untrusted source can lead to data loss and/or leak
4
5 O empreendimento é localizado na Zona 2 .
6
7
8 O parâmetro A_Lote_HIS está de acordo com a legislação!
9
10 O parâmetro CA_Basico está de acordo com a legislação mediante Outorga Onerosa do Direito de Construir ou
    Transferência do Direito de Construir!
11
12 O parâmetro CO está de acordo com a legislação!
13
14 O parâmetro CP está de acordo com a legislação!
15
16 O parâmetro Testada_HIS está de acordo com a legislação!
17
>>> |

```

Fonte: O autor.

A fim de verificar o funcionamento da zona “Eixo Estruturante”, e o comportamento da ferramenta frente a não conformidades, um estudo de caso foi realizado a partir de um empreendimento hipotético (Figura 23). Portanto, tal empreendimento foi vetorizado sobre o Eixo Estruturante e submetido à verificação paramétrica. Esta zona, por ser determinada por algumas das principais vias urbanas do município, engloba mais de uma das demais zonas. Desta forma, ao identificar um lote que incide sobre duas zonas, a ferramenta dá preferência ao Eixo Estruturante, uma vez que nos casos de sobreposição, necessariamente uma das zonas se trata do Eixo Estruturante. O estudo de caso sobre o empreendimento hipotético foi guiado para forçar a existência de não conformidades, onde o plugin mensura, em termos das variáveis básicas, a magnitude do desacordo em relação a legislação. O relatório gerado para o caso hipotético é ilustrado na Figura 26.

Desta forma, a ferramenta geoespacial permite que empreendimentos imobiliários sejam avaliados automaticamente frente aos parâmetros urbanísticos incidentes. Ainda, observa-se que o uso de arquivos vetoriais, além de se mostrar um importante recurso na concepção de projeto, permite que tais índices urbanísticos de ocupação do solo sejam computados de forma rápida e robusta.

Figura 26 – Relatório gerado pelo Plugin para o Empreendimento Hipotético.

```

Python Console
1 Python Console
2 Use iface to access QGIS API interface or Type help(iface) for more info
3 Security warning: typing commands from an untrusted source can lead to data loss and/or leak
4
5 O empreendimento é localizado na Zona Eixo Estruturante .
6
7
8 O parâmetro A_Lote está de acordo com a legislação!
9
10 O parâmetro CA NÃO está de acordo com a legislação!
11
12 A diferença é de 970.28 m2!
13
14 O parâmetro CO está de acordo com a legislação!
15
16 O parâmetro CP NÃO está de acordo com a legislação!
17
18 A diferença é de 6.88 m2!
19
20 O parâmetro Testada está de acordo com a legislação!
21
>>> |

```

Fonte: O autor.

5. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir do desenvolvimento de ferramentas voltadas à diferentes setores (público e civil), porém com a mesma finalidade (verificação paramétrica de conformidade), observa-se a existência de um potencial de aplicação em procedimentos governamentais. Ao projetar tais ferramentas a partir da abordagem FLOSS, a possibilidade de aplicação pública se torna maior. Além disso, a cooperação entre academia e setor público pode ser promovida, uma vez que metodologias baseadas em procedimentos cooperativos, em conjunto com desenvolvimentos em código aberto, possibilitam tal contribuição (WEN *et al.*, 2020).

Como discutido por Fernandes, Formoso e Tzortzopoulos-Fazenda (2018), ferramentas que façam o uso de licenças e plataformas gratuitas não apresentam conflito quanto ao princípio da isonomia da administração pública. Portanto, as ferramentas propostas na presente pesquisa podem ser facilmente aplicadas pelo poder público, podendo compor os procedimentos de avaliação e licenciamento de empreendimentos habitacionais. Ainda, como concluído por Fernandes, Formoso e Tzortzopoulos-Fazenda (2018), ferramentas de verificação automatizada de requisitos possuem potencial em aumentar a conformidade dos projetos em relação às

normas aplicáveis, além de aumentar a qualidade dos projetos apresentados. Desta forma, a presente pesquisa possui tais potenciais, em especial da melhoria da qualidade dos projetos, uma vez que se deve apresentar um EIV completo, para que a sociedade possa consultar os valores de projeto do empreendimento, e um projeto em formato SIG, que passe pela verificação paramétrica geoespacial.

Em relação à ferramenta voltada ao uso consultivo da população, esta pode tornar o processo de audiências públicas mais assertivo, uma vez que é capaz de auxiliar as tomadas de decisão por meio de dados concretos, os quais viabilizam maior embasamento de opiniões. Desta forma, de acordo com os níveis de participação pública determinados por Raymond (2009), e apresentados previamente no Quadro 1, a presente ferramenta busca avançar um nível de participação pública. Ou seja, a partir das informações apresentadas pela ferramenta consultiva, a população pode passar do nível de consulta para o debate público, uma vez que suas opiniões possuam maior embasamento.

Desta forma, ao possuir informações confiáveis frente aos dados apresentados em reuniões de conselhos municipais, os membros da sociedade civil são capazes de participar como atores efetivos do processo de planejamento urbano de suas cidades. Com o uso da ferramenta, a população teria maior grau de independência e neutralidade quanto a interpretação dos dados, sem depender exclusivamente do responsável pelo empreendimento. Ainda, uma vez que a plataforma seja gerenciada pelo poder público, de forma a manter e atualizar os parâmetros de referência, os dados da ferramenta serão sempre atuais e garantidos pelo poder público municipal.

Conforme descrito por Guimarães e Araújo (2018), o planejamento urbano deve ocorrer a partir de uma abordagem “*bottom-up*” (de baixo para cima), de forma que o “cidadão inteligente” assuma um papel colaborativo na gestão das cidades. Para isto, as ferramentas utilizadas devem visar a melhoria dos serviços públicos mediante a contribuição dos cidadãos, assim como trata os objetivos da ferramenta consultiva para a sociedade civil.

De acordo com o estudo desenvolvido por Shahi, McCabe e Shahi (2019), o nível mais completo de sistemas eletrônicos para análises de empreendimentos imobiliários é dado pela integração entre SIG e BIM. Tal integração permitiria a avaliação de uma edificação de acordo com o contexto urbano em que se encontra. No entanto, é observado que o desenvolvimento de ferramentas para verificação paramétrica integradas ao SIG se mostra pouco explorado na literatura científica. Ferramentas que realizam a verificação de parâmetros em empreendimentos imobiliários são focadas apenas no uso do BIM, e em parâmetros construtivos da edificação. Tal foco representa recursos geralmente caros e complexos, de

forma a gerar uma lacuna nas análises urbanísticas de projeto, as quais implicam diretamente na conformação do ambiente urbano e na qualidade de vida da sociedade. Desta forma, uma ferramenta geoespacial desenvolvida para a plataforma QGIS® (a qual é gratuita) possibilita seu uso pelo poder público sem restrições de licenças privadas.

O caso apresentado onde o empreendimento se encontra no Eixo Estruturante permite uma expansão da metodologia, por se tratar de uma zona que se sobrepõe às demais. Desta forma, é possível modelar Áreas de Especial Interesse (AEIs), as quais se tratam de regiões específicas para determinados fins, e que, por consequência, se sobrepõem às zonas definidas para o município segundo seu plano diretor. Vale ressaltar que, apesar da ferramenta ter sido aplicada para o caso de São Carlos, ela pode ser adaptada para outros municípios, desde que as especificidades encontradas sejam modeladas de acordo com a necessidade.

Modelos SIG promovem um suporte eficiente para o planejamento urbano, utilizando recursos geoespaciais baseados nos fundamentos de localização, padrões e tendências (LIU *et al.*, 2017). Ainda, segundo (Yaakup *et al.*, 2007), a integração de modelos SIG com os procedimentos governamentais permite o acompanhamento dos projetos pelos usuários, criar bases de dados, executar análises de projeto, compartilhar recursos e reduzir a recorrência de dados redundantes. No entanto, segundo Fernandes, Formoso e Tzortzopoulos-Fazenda (2018), a proposição de uma ferramenta não garante um método sistemático de verificação de requisitos. Para isto, a ferramenta computacional deve integrar um processo, podendo então obter resultados expressivos. Hussnain *et al.* (2016) aponta para a necessidade de uma reconfiguração institucional, que forneça capital humano adequado para operação da ferramenta, e procedimentos que viabilizem seu uso.

Ao utilizar dados vetoriais para avaliação do projeto, outras análises geoespaciais podem ser desenvolvidas para qualquer fase de projeto. Ainda, um sistema público integrado, que faça o uso de dados geoespaciais de empreendimentos imobiliários no município pode gerar novas formas de planejamento urbano e gestão do ambiente construído. No entanto, o conceito de verificação de requisitos por meio de modelos SIG é pouco explorado, em especial quando aplicado ao processo de licenciamento de empreendimentos habitacionais.

Vale ressaltar que para a efetiva aplicação das ferramentas propostas é importante que sejam realizados treinamentos compreendendo todas as partes envolvidas na aplicação de ambas. A partir de uma curva de aprendizado, as ferramentas passam a ser mais bem utilizadas pelas partes, de forma que suas aplicações sejam potencializadas. Desta forma, espera-se que as ferramentas desenvolvidas, de acordo com suas respectivas especificidades, sirvam como instrumentos para o embasamento popular e para a verificação automatizada de parâmetros

urbanísticos, durante etapas do licenciamento habitacional. Ainda, Eastman *et al.* (2011) aponta que a verificação manual e a automática devem ser complementares. Ainda, apesar dos estudos de caso terem sido guiados para empreendimentos habitacionais, é possível que a ferramenta seja aplicada a quaisquer tipos de empreendimentos imobiliários sujeitos aos parâmetros urbanísticos dispostos no Plano Diretor.

De a modo a dar continuidade à pesquisa, possíveis trabalhos futuros podem ser desenvolvidos, buscando estender a abrangência das ferramentas desenvolvidas e resolver limitações das propostas. As ferramentas podem ser ampliadas quanto suas abrangências no que tange às legislações, para que um maior número de parâmetros legais seja incorporado no escopo dos programas computacionais, integrando ainda a tipologia do empreendimento, de forma classificá-los perante seu uso (comercial, industrial, residencial ou misto). Especificamente em relação à ferramenta geoespacial, é interessante que seja integrada a um sistema mais amplo, de forma a compor um banco de dados públicos geoespaciais. Desta forma, com o uso de outros recursos oferecidos pelo SIG, seria possível estender o conhecimento sobre o ambiente construído do município, assim como avaliar as consequências da implantação de um empreendimento nas terras adjacentes de onde está sendo aplicado. Seus respectivos usos podem ser aplicados territorialmente, incorporando novos municípios à metodologia de verificação por meio das ferramentas propostas. O conceito de *Design Science Research* pode ser incorporado ao escopo da pesquisa, podendo representar novos paradigmas quanto a representação espacial dos empreendimentos analisados. Ainda, o desenvolvimento de uma metodologia para o treinamento das partes envolvidas visando a aplicação das ferramentas se mostra conveniente, de forma a tornar o uso das ferramentas mais eficiente.

Ao avaliar os requisitos de usuários de HIS por meio de modelos BIM, Baldauf *et al.* (2020) apontam que este tipo de projeto enfrenta problemas associados à subjetividade envolvida na avaliação de projetos, pois é fortemente baseada em julgamentos pessoais. Ainda, os autores destacam a demora e a falta de critérios padronizados neste processo de avaliação. Desta forma, a presente pesquisa pode representar uma etapa inicial do desenvolvimento de sistemas integrados entre o SIG e a verificação de requisitos para o planejamento urbano, conforme descrito por Shahi, McCabe e Shahi (2019), uma vez que tal temática ainda é pouco explorada em âmbito acadêmico.

As ferramentas desenvolvidas na presente pesquisa possuem potencial em diminuir parte dos problemas identificados na avaliação de projetos de HIS. Uma vez que são baseadas em sistemas computacionais automatizados para verificação de requisitos, tais ferramentas podem tornar o licenciamento habitacional mais objetivo e menos demorado. Ainda, o sistema consultivo

para a sociedade civil pode promover maior embasamento da população frente aos assuntos urbanos, permitindo maior atuação nas decisões públicas sobre o ambiente construído.

6. CONCLUSÃO

Os programas computacionais desenvolvidos mostram-se de grande utilidade pelas diversas partes envolvidas no processo de licenciamento de empreendimentos habitacionais. Perante a sociedade civil, o presente projeto pode ser um meio pelo qual as opiniões da população possam ser embasadas, de forma a aumentar o rigor de suas considerações em etapas de audiência pública, permitindo um maior nível de participação popular através do Debate Público (Quadro 1). Perante o setor público, uma ferramenta geoespacial pode ser um passo importante em novas concepções de avaliação de projeto, devido ao potencial em gerar bons resultados de forma rápida.

Conforme abordado nas revisões de literatura, ferramentas computacionais que verifiquem a conformidade de projetos habitacionais perante valores de referência podem reduzir o tempo de aprovação, além de assegurar sustentabilidade e transparência. Ainda, a longo prazo, a redução no tempo de aprovação pode atender parte da demanda habitacional do município, de forma segura e objetiva.

Ferramentas computacionais gratuitas, quando desenvolvidas visando aplicação pública e adesão da sociedade civil, devem ser articuladas através de códigos abertos e plataformas gratuitas. Desta forma, o código aberto (*open source*) permite que as ferramentas possam receber atualizações ou incorporações de novos métodos, por meio de desenvolvimentos participativos, envolvendo a comunidade científica, poder público, e a população. Ainda, a gratuidade das ferramentas desenvolvidas não exige a contratação de licenças para o uso de modelos específicos, evitando a escolha de uma empresa ou licença privada por meio do poder público. Assim, garante-se o princípio da isonomia pública, uma vez que ambas as ferramentas possuem seus códigos abertos, permitindo futuras adaptações conforme a necessidade local, ou abrangência requerida.

Por fim, conforme discutido, a evolução dos recursos tecnológicos permite uma reflexão acerca dos processos tradicionais do setor público, devido ao potencial de torná-los mais eficientes. Ainda, a integração da esfera pública e da sociedade civil através de ferramentas computacionais pode apresentar uma base para novos paradigmas de modelos de governança, tornando suas operações e processos mais eficazes, sustentáveis e democráticos.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, M. G. O.; RUMEL, C. R. A Indústria de Loteamentos e o Planejamento Estratégico: Uma Proposta de Análise para Seleção de Municípios Alvo e Prospecção de Áreas para o Mercado Imobiliário de Médio e Alto Padrão. **13ª Conferência Internacional Latin American Real Estate Society**, 2013.
- ANTONELLO, I. T. Perspectivas das Instrumentos Democráticos de Planejamento e Gestão do Território Urbano: As formas de participação da sociedade. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 42, 2017.
- ARAÚJO, G. M.; VILLA, S. B. A relação entre bem-estar e resiliência na habitação social: um estudo sobre os impactos existentes. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 20, n. 3, p. 141-163, 2020.
- BALDAUF, J. P. **Proposta de Método Para Modelagem de Requisitos de Clientes de Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social Usando BIM**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.
- BALDAUF, J. P.; FORMOSO, C. T.; TZORTZOPOULOS-FAZENDA, P.; MIRON, L. I. G.; SOLIMAN-JUNIOR, J. Using Building Information Modelling to Manage Client Requirements in Social Housing Projects. **Sustainability**, v. 12, n. 7, 2020.
- BARREIROS, M. A. F.; ABIKO, A. K. **Reflexões sobre o parcelamento do solo urbano**. São Paulo, 1998.
- BHOSALE, S. T.; PATIL, T.; PATIL, P. SQLite: Light Database System. **International Journal of Computer Science and Mobile Computing**, v. 4, p. 882-885, 2015.
- BONATTO, F.; MIRON, L.; FORMOSO, C. Avaliação de Empreendimentos Habitacionais de Interesse Social Com Base na Hierarquia de Valor Percebido pelo Usuário. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 1, p. 67-83, 2011.
- BORRMANN, A.; RANK, E. Query Support for BIMs Using Semantic and Spatial Conditions Topological Analysis of 3D Building Models Using a Spatial Query Language. **Handbook of Research on Building Information Modeling and Construction Informatics: Concepts and Technologies**, 2010.
- BRITTO, M.; OLIVEIRA, C. M. Participação Popular e Decisão Política: uma crítica a ausência de justificativa do poder público. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 8, n. 1, p. 688-712, 2019.
- CASSIANO, A. M.; PERES, R.B. Diretrizes e Critérios para a Regulamentação e Implementação do Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV) no Município de São Carlos, SP. In: **7º Congresso Luso-Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável**. Maceió, 2016.
- DUPAS, F. A. **Crescimento Urbano e suas Implicações Ambientais: proposta de redirecionamento de cidades de médio porte utilizando as variáveis ambientais, sensoriamento remoto e sig – estudo do caso de São Carlos, SP**. Tese (Pós-Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos, Dep. Engenharia Civil, Engenharia Urbana, 2001.

EASTMAN, C. *et al.* Automatic rule-based checking of building designs. **Automation in Construction**, v. 8, p. 1011-1033, 2009.

EASTMAN, C. *et al.* **BIM Handbook**: a guide to building information for owners, managers, designers, engineers and contractors. New Jersey: John Wiley & Sons, 2011.

EIV. **Estudo de Impacto de Vizinhança** – Condomínio Residencial Parque dos Girassóis. São Carlos, 2019.

FERNANDES, G. H.; FORMOSO, C. T.; TZORTZOPOULOS-FAZENDA, P. Método para verificação automatizada de requisitos em empreendimentos Habitacionais de Interesse Social. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 4, p. 259-278, 2018.

FJP. Fundação João Pinheiro/Diretoria de Estatística e Informações (FDP/DIREI). **Déficit Habitacional no Brasil: 2015**. Belo Horizonte, 2018.

GAULD, R.; GRAY, A. McCOMB, S. How responsive is E-government? Evidence from Australia and New Zealand. **Government Information Quarterly**, 2009.

GRAPROHAB – Grupo de Análise e Aprovação de Projetos Habitacionais do Estado de São Paulo. **Manual de Orientação: Aprovação de Projetos Habitacionais GRAPROHAB**. São Paulo, 2019.

GRAYSON, J. E. **Python and Tkinter Programming**. Manning Publications Co. 2000.

GUIMARÃES, P.; ARAÚJO, D. O direito à cidade no contexto das smart cities: o uso das TIC's na promoção do planejamento urbano inclusivo no Brasil. **Revista de Direito da Cidade**, v. 10, n. 3, p. 1788-1812, 2018.

HEUSER, C. A. **Projeto de banco de Dados**. Porto Alegre: Sagra Luzzato. 1998.

HOYLER, T. Regulando a incorporação imobiliária em São Paulo: burocracia, instrumentos e negociações. **Revista Brasileira de Estudos Urbanos e Regionais**, São Paulo, v. 21, n. 1, p. 80-97, 2019.

HU, M.; ROBERTS, J. D.; AZEVEDO, G. P.; MILNER, D. The role of built and social environmental factors in Covid-19 transmission: A look at America's capital city. **Sustainable Cities and Society**, v. 65, 2021.

HUSSNAIN, M. Q.; WAKIL, K.; WAHEED, A.; TAHIR, A. A Planning Support System to Optimize Approval of Private Housing Development Projects. **IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.** v. 37, 2016.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro, 2011.

IBGE. **Introdução ao Ambiente GIS QGIS**. Rio de Janeiro, 2018.

İLAL, S. M.; GÜNAYDIN, H. M. Computer Representation of Building Codes for Automated Compliance Checking. **Automation in Construction**, v. 82, p. 43-58, 2017.

KON, F.; MEIRELLES, P.; LAGO, N.; TERCEIRO, A.; CHAVEZ, C.; MENDONÇA, M. Free and Open Source Software Development and Research: Opportunities for Software Engineering. **2011 25th Brazilian Symposium on Software Engineering**. São Paulo, 2011.

LIU, X.; WANG, X.; WRIGHT, G.; CHENG, J.; LI, X.; LIU, R. A state-of-the-art review on the integration of building information modeling (BIM) and geographic information system (GIS). **ISPRS International Journal of Geo-Information**, v. 6, n. 2, 2017.

MELZNER, J.; ZHANG, S.; TEIZER, J.; BARGSTÄDT, H. A case study on automated safety compliance checking to assist fall protection design and planning in building information models. **Construction Management and Economics**. v. 31, n. 6, p. 661-674, 2013.

MENDES, H. C.; MENDIONDO, E. M. Histórico da Expansão Urbana e Incidência de Inundações: o caso da bacia do Gregório, São Carlos – SP. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 12, n. 1, p. 17-27, 2007.

MERMET, L. Place et conduite de la négociation dans les processus de décision complexes: l'exemple d'un conflit d'environnement. In: FAURE, G. O.; *et al.* **La négociation – Situations et problématiques**. Paris, Nathan, p. 139-172, 1998.

MORORÓ, M. S. M.; ROMCY, N. M. S.; CARDOSO, D. R.; BARROS NETO, J. P. Proposta paramétrica para projetos sustentáveis de Habitação de Interesse Social em ambiente BIM. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 4, p. 27-44, 2016.

NARAYANSWAMY, H.; LIU, H.; AL-HUSSEIN, M. BIM-based Design Checking for Building Permit in the Light-Frame Building Industry. In: 36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2019). **Proceedings...**, 2019.

NAWARI, N. O.; ALSAFFAR, A. The Role of BIM in Simplifying Construction Permits in Kuwait. **AEI 2017: Resilience os the Integrated Building**, 2017.

NAWARI, N. O. A Generalized Adaptative Framework (GAF) for Automating Code Compliance Checking. **Buildings**, v. 86, n. 9, 2019.

NOVACK, P. N.; HIDALGO, R. Políticas habitacionais: resultados e lacunas na produção latino-americana. **Revista da ANPEGE**, v. 13, n. 21, p. 73-88, 2017.

OJO, A.; DZHUSUPOVA, Z.; CURRY, E. Exploring the nature of the smart cities research landscape. **Smarter as the New Urban Agenda**. Springer, p. 23-47, 2016.

OLIPHANT, M. T. Python for Scientific Computing. **Computing in Science & Engineering**. v. 9, n. 3, p. 10-20, 2007.

OLIVEIRA, C. M.; LOPES, D.; SOUSA, I. C. N. Direito à participação nas políticas urbanísticas: avanços após 15 anos de estatuto da cidade. **urbe, Rev. Bras. Gest. Urbana**, v. 10, n. 2, p. 322-334, 2018.

PEREIRA, G. V.; PARYCEK, P.; FALCO, E.; KLEINHANS, R. Smart Governance in the Context of Smart Cities: A Literature Review. **Information Polity**, p. 143-162, 2018.

PERES, R. B.; CASSIANO, A. M. Inter-relações entre o Estudo de Impacto de Vizinhança (EIV) e o Estudo de Impacto Ambiental (EIA): perspectivas e contribuições às políticas

públicas ambientais urbanas. In: **Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional**. São Paulo, 2017.

PEREZ, R. A.; KIMURA, D. S. Análise de mercado como ferramenta para a abertura de novos loteamentos. **Revista Brasileira de Planejamento e Desenvolvimento**, v. 3, n. 1, p. 129-141, 2014.

PONS, N. A. D. **Levantamento e Diagnóstico Geológico-Geotécnico de Áreas Degradadas na Cidade de São Carlos-SP, com Auxílio de Geoprocessamento**. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

PROHAB. Planejamento Orçamentário – Lei de Diretrizes Orçamentárias – Anexo V. São Carlos, 2017.

RAPPL, K.; MEDRANO, L. S. Modelos de avaliação pré-construção em empreendimentos habitacionais de interesse social: uma revisão sistemática da literatura. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, Campinas, SP, v. 8, n. 4, p. 286–300, 2017.

RASHIDAN, M. H.; MUSLIMAN, I. A. GeoPackage as Future Ubiquitous GIS Data Format: A Review. **Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)**, v. 70, n. 5, p. 47-53, 2015.

RAYMOND, R. La «société civile» ce «nouvel» acteur de l'aménagement des territoires. **L'information Géographique**, Paris: Armand Colin, v. 73, n. 2, 2009.

SALAMA, D.; EL-GOHARY, N. Semantic Modeling For Automated Compliance Checking. **Computing in Civil Engineering**, p. 641-648, 2011.

SAMONTE, M. J. C.; BAHIA, R. J. D.; DOLLETE, C. J. T.; BERNADINE, S. An Interactive Visualization Tool of E-Government Data Analysis of the Poorest of the Poor Household List in the Philippines. In **Proceedings of the 4th International Conference on Industrial and Business Engineering (ICIBE)**. 2018.

SAULE JR, N.; ROLNIK, R. **Estatuto da Cidade: novos horizontes para a reforma urbana**. São Paulo, Pólis, 2001.

SAULE JR., N. *et al.* **A Perspectiva do direito à cidade e da reforma urbana na revisão da lei do parcelamento do solo**. Instituto Pólis, 2008.

SCHEIDT, F. S. S. *et al.* Consideração de requisitos ambientais em empreendimentos habitacionais de interesse social: um estudo de caso. **Ambiente Construído**, 10, 91-106. 2010.

SEADE. Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados. **Portal de Estatísticas do Estado de São Paulo**. Disponível em: <<https://produtos.seade.gov.br/produtos/projpop/index.php>>. Acesso em: 10 maio 2020.

SHAHI, K.; McCABE, B.; SHAHI, A. Framework for Automated Model-Based e-Permitting System for Municipal Jurisdictions. **Journal of Management in Engineering**, v. 35, n. 6, 2019.

SILVA, A. O.; FERNANDES, R. A. S. Smart Governance Based on Multipurpose Territorial Cadastre and Geographic Information System: an analysis of geoinformation, transparency and collaborative participation for Brazilian capitals. **Land Use Policy**, v. 97, 2020.

SOUSA, L. M. C. Natureza jurídica da outorga onerosa do direito de construir e de sua contraprestação como compensação urbanística, **Revista de Direito da Cidade**, v. 8, n. 1, p. 193-224, 2016.

STANGANINI, F. N.; LOLLO, J. A. O Crescimento da Área Urbana da cidade de São Carlos/SP entre os anos de 2010 e 2015: o avanço da degradação ambiental. **urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana**, 2018.

SUN, P. L.; KU, C. Y.; SHIH, D. H. An implementation framework for E-Government 2.0. **Telematics and Informatics**, v. 32, n. 3, p. 504-520, 2015.

TAN, X.; HAMMAD, A.; FAZIO, P. Automated Code Compliance Checking For Building Envelope Design. **Journal of Computing in Civil Engineering**, v. 24, n. 2, 2010.

WEN, M.; SIQUEIRA, R.; LAGO, N.; CAMARINHA, D.; TERCEIRO, A.; KON, F.; MEIRELLES, P. Leading successful government-academia collaborations using FLOSS and agile values. **The Journal of Systems and Software**. 2020.

WILLIAMSON, I.; ENEMARK, S.; WALLACE, J.; RAJABIFARD, A. Land administration for sustainable development. **In FIG Congress 2010, TS 3A – Land governance for sustainable development**. Sydney, Australia, 2010.

XU, Rong; SOLIHIN, Wawan; HUANG, Zhiyong. Code Checking and Visualization of an Architecture Design. **IEEE Xplore, Visualization 2004**, 2004.

YAAKUP, A.; SULAIMAN, S.; JOHAR, F.; CHE NGAH, M. Computerised Planning Approval System For A Local Authority In Malaysia. **10th Int. Conf. Comput. Urban Plan. Urban Manag.** 2007.

ZAMBRANO, F. F. **Contribuições e Aplicações de Contrapartidas Urbanísticas nos Parcelamentos do Solo nos Municípios de Araraquara e São Carlos – SP**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, Universidade Federal de São Carlos, 2018.

ZHANG, S. *et al.* Building Information Modeling (BIM) and Safety: automatic safety checking of construction models and schedules. **Automation in Construction**, v. 29, n. 4, p. 183-195, 2013.

LEGISLAÇÕES

BRASIL. Decreto-Lei nº 58, de 10 de dezembro de 1937. Dispõe sobre o loteamento e a venda de terrenos para pagamento em prestações. Brasília, 1937.

BRASIL. Decreto-Lei nº 271, de 28 de fevereiro de 1967. Dispõe sobre loteamento urbano, responsabilidade do loteador concessão de uso e espaço aéreo e dá outras providências. Brasília, 1967.

BRASIL. Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. Brasília, 1979.

BRASIL. Lei nº 9.785, de 29 de janeiro de 1999. Altera o Decreto-Lei no 3.365, de 21 de junho de 1941 (desapropriação por utilidade pública) e as Leis nos 6.015, de 31 de dezembro de 1973

(registros públicos) e 6.766, de 19 de dezembro de 1979 (parcelamento do solo urbano). Brasília, 1999.

BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regulamenta os artigos 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. Brasília, 2001.

BRASIL. Lei nº 11.124, de 16 de junho de 2005. Dispõe sobre o Sistema Nacional de Habitação de Interesse Social (SNHIS), cria o Fundo de Habitação de Interesse Social (FNHIS) e institui o conselho gestor do FNHIS. Brasília, 2005.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Brasília, 2007.

BRASIL. Ministério das Cidades. Portaria nº 168, de 12 de abril 2013. Dispõe sobre as diretrizes gerais para aquisição e alienação de imóveis por meio de transferência de recursos ao Fundo de Arrendamento Residencial - FAR, no âmbito do Programa Nacional de Habitação Urbana - PNHU, integrante do Programa Minha Casa, Minha Vida - PMCMV. Diário Oficial da União, Brasília, 2013.

BRASIL. Lei nº 14.118, de 12 de janeiro de 2021. Institui o Programa Casa Verde e Amarela. Brasília, 2021.

SÃO CARLOS. Lei nº 15.958, de 29 de dezembro de 2011. Dispõe sobre o Código de Obras e Edificações do Município de São Carlos, e dá outras providências. São Carlos, 2011.

SÃO CARLOS. Lei nº 18.053, de 11 de dezembro de 2018. Estabelece o Plano Diretor do Município de São Carlos, e dá outras providências. São Carlos, 2018.

ANEXO A – VALORES DE REFERÊNCIA POR ZONA DO MUNICÍPIO DE SÃO CARLOS

Macrozona Urbana e de Estruturação e Qualificação Urbana

<p>Eixo Estruturante</p> <p>CO = 70% CP = 15% CA = 1,4 para uso residencial unifamiliar; CAB = 2,0 CAM = 4,0 Lote Mínimo = 200 m² (ou 150 m² para HIS) Testada Mínima = 10 m (ou 7,5 m para HIS)</p>	<p>Zona 1 - Ocupação Consolidada</p> <p>CO = 70% CP = 15% CA = 1,4 para uso residencial unifamiliar; CAB = 2,0 CAM = 3,0 Lote Mínimo = 200 m² (ou 160 m² para HIS) Testada Mínima = 10 m (ou 8 m para HIS)</p>
<p>Zona 2 - Ocupação Induzida</p> <p>CO = 70% CP = 15% CA = 1,4 para uso residencial unifamiliar; CAB = 2,0 CAM = 3,5 Lote Mínimo = 200 m² (ou 160 m² para HIS) Testada Mínima = 10 m (ou 8 m para HIS)</p>	<p>Zona 3 - Ocupação Condicionada</p> <p>CO = 70% CP = 15% CA = 1,4 Lote Mínimo = 200 m² (ou 160 m² para HIS) Testada Mínima = 10 m (ou 8 m para HIS)</p>
<p>Zona 4 - Qualificação e Ocupação Controlada</p> <p>CO = 70% CP = 15% CA = 1,4 Lote Mínimo = 200 m² (ou 160 m² para HIS) Testada Mínima = 10 m (ou 8 m para HIS)</p>	<p>Zona 5A - Proteção e Ocupação Controlada SUC Monjolino-Espraiado</p> <p>(Coefs. para Glebas Remanescentes)</p> <p>CO = 50% CP = 30% CCV = 20% CA = 1,0 Lote Mínimo = 500 m²</p>
<p>Zona 5B - Proteção e Ocupação Controlada SUC Ribeirão do Feijão</p> <p>(Coefs. para Glebas Remanescentes)</p> <p>CO = 50% CP = 30% CCV = 20% CA = 1,0 Lote Mínimo = 500 m²</p>	

Macrozona Rural

<p>Zona 6A - Regulação e Ocupação Controlada de Maior Densidade</p> <p>CO = 70% CP = 20% CCV = 10% CA = 1,4 (ou 2,0 nos eixos viários arteriais tipo 1) Lote Mínimo = 200 m² (ou 160 m² para HIS) Testada Mínima = 10 m (ou 8 m para HIS)</p>	<p>Zona 6B - Regulação e Ocupação Controlada de Média Densidade</p> <p>CO = 50% CP = 40% CCV = 20% CA = 1,0 (ou 2,0 nos eixos viários arteriais tipo 1) Lote Mínimo = 250 m² (ou 160 m² para HIS) Testada Mínima = 10 m (ou 8 m para HIS)</p>
<p>Zona 6C - Regulação e Ocupação Controlada de Menor Densidade</p> <p>CO = 70% CP = 20% CCV = 15% CA = 1,0 (ou 1,4 para HIS) Lote Mínimo = 200 m² (ou 160 m² para HIS) Testada Mínima = 10 m (ou 8 m para HIS)</p>	<p>Zona 6D - Regulação e Ocupação Controlada de Indústrias e Serviços</p> <p>CO = 70% CP = 20% CCV = 10% CA = 1,0 Lote Mínimo = 600 m² (ou 200 m² para uso misto) Testada Mínima = 20 m (ou 10 m para uso misto)</p>
<p>Zona 6E - Regulação e Ocupação Controlada de Maior Densidade (Santa Eudóxia)</p> <p>CO = 70% CP = 25% CCV = 15% Lote Mínimo = 200 m² (ou 160 m² para uso misto) Testada Mínima = 10 m (ou 8 m para uso misto)</p>	<p>Zona 7 - Proteção, Regulação e Ocupação Específica</p> <p>CO = 25% CP = 50% CCV = 50% CA = 0,25 Lote Mínimo = 1500 m² Testada Mínima = 20 m</p>
<p>Zona 8A - Proteção e Ocupação Restrita do Monjolino-Espraiado</p> <p>CO = 25% CP = 50% CCV = 50% CA = 0,25 Lote Mínimo = 1500 m² Testada Mínima = 20 m</p>	<p>Zona 8B - Zona de Proteção do Manancial do Ribeirão Feijão</p> <p>CO = 25% CP = 50% CCV = 50% CA = 0,25 Lote Mínimo = 3000 m² Testada Mínima = 20 m</p>
<p>Zona 9A - Zona Multifuncional Rural</p> <p>Lote Mínimo = 20.000 m²</p>	<p>Zona 9B - Zona Multifuncional Rural e de Proteção Hídrica</p> <p>Lote Mínimo = 20.000 m²</p>

Zona	CO	CP	CCV	CA
1	70	15	NULL	1,4
2	70	15	NULL	1,4
3	70	15	NULL	1,4
4	70	15	NULL	1,4
5A	50	30	20	1
5B	50	30	20	1
6A	70	20	10	1,4
6B	50	40	20	1
6C	70	20	15	1
6D	70	20	10	1
6E	70	25	15	NULL
7	25	50	50	0,25
8A	25	50	50	0,25
8B	25	50	50	0,25
9A	NULL	NULL	NULL	NULL
9B	NULL	NULL	NULL	NULL
Eixo Estruturante	70	15	NULL	1,4
Universidades	NULL	NULL	NULL	NULL