



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo

VANESSA MARIANO ROSA

**PLANEJAMENTO DE SISTEMAS
DESCENTRALIZADOS DE TRATAMENTO DE
ESGOTO EM TERRITÓRIO RURAL UTILIZANDO
ANÁLISE ESPACIAL**

**CAMPINAS
2025**

VANESSA MARIANO ROSA

**PLANEJAMENTO DE SISTEMAS
DESCENTRALIZADOS DE TRATAMENTO DE
ESGOTO EM TERRITÓRIO RURAL UTILIZANDO
ANÁLISE ESPACIAL**

Dissertação de Mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil na área de Saneamento e Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Adriano Luiz Tonetti

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA VANESSA MARIANO ROSA E ORIENTADA PELO PROF. DR. ADRIANO LUIZ TONETTI

Campinas

2025

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)
Biblioteca da Área de Engenharia e Arquitetura
Rose Meire da Silva - CRB 8/5974

R71p Rosa, Vanessa Mariano, 1982-
Planejamento de sistemas descentralizados de tratamento de esgoto em território rural utilizando análise espacial / Vanessa Mariano Rosa. – Campinas, SP : [s.n.], 2025.

Orientador: Adriano Luiz Tonetti.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo.

1. Saneamento rural. 2. Tratamento de esgoto. 3. Análise espacial. 4. Águas residuais. 5. Tratamento de esgoto descentralizado. I. Tonetti, Adriano Luiz, 1973-. II. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Informações complementares

Título em outro idioma: Planning decentralized sewage treatment systems in rural areas using spatial analysis

Palavras-chave em inglês:

Rural sanitation

Sewage treatment

Spatial analysis

Wastewater

Decentralized wastewater treatment

Área de concentração: Saneamento e Ambiente

Titulação: Mestra em Engenharia Civil

Banca examinadora:

Adriano Luiz Tonetti [Orientador]

Eduardo Bello Rodrigues

Juliana Caroline Alencar da Silva

Data de defesa: 21-01-2025

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Civil

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

ODS: 6. Água potável e saneamento

ODS: 11. Cidades e comunidades sustentáveis

Identificação e informações acadêmicas do(a) aluno(a)

- ORCID do autor: <https://orcid.org/0009-0003-9278-2571>

- Currículo Lattes do autor: <http://lattes.cnpq.br/1297803043343223>

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL, ARQUITETURA E
URBANISMO**

**PLANEJAMENTO DE SISTEMAS DESCENTRALIZADOS
DE TRATAMENTO DE ESGOTO EM TERRITÓRIO
RURAL UTILIZANDO ANÁLISE ESPACIAL**

Vanessa Mariano Rosa

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:

Prof. Dr. Adriano Luiz Tonetti
Presidente e Orientador/FECFAU/UNICAMP

Prof. Dr. Eduardo Bello Rodrigues
Universidade do Estado de Santa Catarina

Profa. Dra. Juliana Caroline Alencar da Silva
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no SIGA/Sistema de Fluxo de Dissertação/Tese e na Secretaria do Programa da Unidade.

Campinas, 21 de janeiro de 2025

*À memória de meu pai, Daniel Antonio Rosa, e à
minha mãe, Lucinda Aparecida Mariano Rosa,
com todo carinho dedico.*

AGRADECIMENTOS

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

Ao Professor Adriano Luiz Tonetti agradeço pela orientação, pelos conhecimentos compartilhados e por todo o apoio na realização deste trabalho.

À Isabel Campos Salles Figueiredo agradeço pelo papel pioneiro nas pesquisas em Saneamento Rural na FECFAU e pelas valiosas contribuições que em muito me inspiraram.

Agradeço à Maria Eduarda Pereira de Almeida pela disposição e por esclarecer minhas dúvidas sempre que precisei.

Agradeço à Marli dos Reis pela generosidade em compartilhar seus conhecimentos e me dar apoio nos meus primeiros passos no mundo do geoprocessamento.

Agradeço ao meu companheiro de vida, Rafael Moranga Gonçalves, pela paciência, incentivo, apoio e por todo o carinho.

À minha mãe, minhas irmãs e meus sobrinhos, agradeço pela carinhosa torcida, apoio e incentivo.

Agradeço à Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e à Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FECFAU) pela infraestrutura disponibilizada e pela oportunidade de fazer parte do programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Agradeço à CAPES pela concessão da bolsa de mestrado.

Aos membros da banca, agradeço a disponibilidade e as contribuições para o aperfeiçoamento desse trabalho.

Por fim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que esse trabalho pudesse ser realizado.

RESUMO

PLANEJAMENTO DE SISTEMAS DESCENTRALIZADOS DE TRATAMENTO DE ESGOTO EM TERRITÓRIO RURAL UTILIZANDO ANÁLISE ESPACIAL

Aspectos demográficos como a densidade populacional e a distribuição espacial dos domicílios se caracterizam como alguns dos fatores decisivos no planejamento e escolha das soluções de saneamento descentralizadas adotadas em áreas rurais. A dispersão física da população nas áreas rurais dificulta a implantação de sistemas de saneamento centralizado de coleta e tratamento de esgotos, contribuindo para um déficit no atendimento. Também existe uma lacuna nas políticas públicas brasileiras voltadas ao saneamento básico, o que dificulta o processo de universalização dos serviços. Um estudo realizado por Tonetti et al. (2021) apontou que em áreas rurais com residências espaçadas entre si a uma distância superior a 76 metros, sistemas unifamiliares de tratamento de esgoto são mais viáveis em relação aos sistemas coletivos. Tal valor se aproxima do resultado apresentado no Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR), o qual indica que densidades populacionais inferiores a 605hab/km² dificultam adoção de sistemas centralizados de saneamento, principalmente na coleta e tratamento de esgotos. Diante destes dados, o presente trabalho buscou aplicar a metodologia desenvolvida por Tonetti et al. (2021) para a avaliação da implantação de sistemas de tratamento de esgoto doméstico descentralizados em áreas rurais. A partir da coleta e análise de dados geoespaciais, o presente trabalho demonstrou que a parcela das habitações da Área de Proteção Ambiental (APA) de Campinas que se enquadra como apropriada a ser atendida por sistemas de tratamento de esgoto descentralizados do tipo unifamiliares é de 18%. Deste modo, a metodologia utilizada no presente trabalho e os resultados obtidos podem se caracterizar como ferramentas de apoio ao planejamento e tomada de decisão na elaboração de projetos, programas e planos municipais de saneamento básico, abrangendo principalmente as áreas rurais, contribuindo assim para a universalização do saneamento no Brasil.

Palavras-chave: Saneamento rural; descentralizado; análise espacial.

ABSTRACT

PLANNING OF DECENTRALIZED SEWAGE TREATMENT SYSTEMS IN RURAL TERRITORY USING SPATIAL ANALYSIS

Demographic factors such as population density and the spatial distribution of households are crucial in planning and selecting decentralized sanitation solutions for rural areas. The physical dispersion of populations in rural regions complicates the implementation of conventional sanitation systems for sewage collection and treatment, contributing to a significant service deficit. Additionally, there is a gap in Brazilian public policies targeting basic sanitation, which impedes progress toward the universalization of services. A study by Tonetti et al. (2021) indicated that in rural areas where residences are spaced more than 76 meters apart, single-family sewage treatment systems are more viable than collective systems. This threshold aligns closely with findings from the National Rural Sanitation Plan (PNSR), which suggests that collective solutions become more effective than individualized ones for solid waste collection and disposal services at a population density of 605 inhabitants/km² or higher. Based on this data, the present study aimed to apply the methodology developed by Tonetti et al. (2021) to evaluate the implementation of decentralized domestic sewage treatment systems in rural areas. By collecting and analyzing geospatial data, this study demonstrated that 18% of the households in the Environmental Protection Area (APA) of Campinas are suitable for single-household decentralized sewage treatment systems. The methodology developed and the results obtained in this study can serve as valuable tools for planning and decision-making in the development of municipal basic sanitation projects, programs, and plans. This focus on rural areas contributes to advancing the universalization of sanitation services in Brazil.

Keywords: Rural sanitation; decentralized; spatial analysis.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Sistema de tratamento de esgoto descentralizado unifamiliar (<i>onsite</i>) composto por tanque séptico e tanque de infiltração ou sumidouro, conforme NBR 13.969 (ABNT 1997). Fonte: Tonetti et al. (2021)	29
Figura 2 Sistema de tratamento de esgoto descentralizado coletivo (<i>cluster</i>) composto por tanque séptico e filtro anaeróbio, conforme diretrizes da NBR 13.969 (ABNT 1997). Fonte: Tonetti et al. (2021).....	30
Figura 3 Localização da APA de Campinas (MZ 1). Elaborado pela Autora a partir das Bases Cartográficas IBGE (2021) e SVDS (2018).....	32
Figura 4 Localização das unidades territoriais de planejamento propostas pelo PD (2006). Elaborado pela Autora a partir de SVDS (2018).....	33
Figura 5 Mapa de Zoneamento Ambiental da Área de Proteção Ambiental de Campinas. Elaborado pela Autora a partir de SVDS (2018).....	35
Figura 6 Mapa de densidade demográfica. Fonte: Plano de Manejo da APA de Campinas (Campinas, 2018).....	37
Figura 7 Fluxograma das etapas de trabalho realizadas para obtenção de dados de densidade habitacional da área de estudo. Elaborado pela Autora, 2024.	40
Figura 8 Etapas de trabalho realizadas para obtenção dos dados de densidade habitacional da área de estudo a partir de base de dados do Google e do software QGIS.....	41
Figura 9 Mapa da estrutura fundiária da APA de Campinas. Elaborado pela Autora a partir de SVDS (2018) e dados do Sistema Nacional de Cadastro Rural (2023)	44
Figura 10 Tela de navegação do Open Buildings representando as feições extraídas em um fragmento da área de estudo.....	45
Figura 11 Área de trabalho do QGIS com um fragmento da área de estudo com as feições ou polígonos extraídos do <i>Open Buildings</i>	46
Figura 12 Categorização das edificações quanto à sua distribuição espacial. 47	
Figura 13 Vista dos <i>buffers</i> ou raios de influência ao redor das edificações em fragmento da área de estudo. (a) polígonos sobrepostos à imagem de satélite; (b) <i>buffer</i> ou raio de influência ao redor dos polígonos; (c) destaque da intersecção entre os raios de influência. Elaborado pela autora	49
Figura 14 Mapa da estrutura fundiária da APA de Campinas sobreposto ao mapa de polígonos referentes às edificações	53
Figura 15 Fragmento do mapa da estrutura fundiária da APA de Campinas sobreposto ao mapa de polígonos referentes às edificações.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APA	Área de Proteção Ambiental
APP	Área de Preservação Permanente
CATI	Coordenadoria de Assistência Técnica Integral
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CSV	<i>Comma-separated values</i>
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IAS	Instituto Água e Saneamento
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDEA	Infraestrutura de Dados Espaciais Ambientais do Estado de São Paulo
IGC	Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INDE	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
IPEA	Instituto De Pesquisa Econômica Aplicada
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
GIS	<i>Geographic Information System</i>
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONDAS	Observatório Nacional dos Direitos à Água e ao Saneamento
ONU	Organização das Nações Unidas
OWTS	<i>Onsite Wastewater Treatment System</i>
MZ	Macrozona
NBR	Norma Brasileira
PLANSAB	Plano Nacional de Saneamento Básico
PMC	Prefeitura Municipal de Campinas
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
PNSIPCFA	Política Nacional de Saúde Integral das Populações do Campo, Floresta e Águas
PNSR	Programa Nacional de Saneamento Rural
PV	Poço de Visita

SANASA	Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento de Campinas
SICAR	Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SNUC	Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza
SIGRH	Sistema Integrado de Gerenciamento de Recursos hídricos do estado de São Paulo
SVDS	Secretaria do Verde, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável da Prefeitura de Campinas
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
UC	Unidade de Conservação
UNICEF	Fundo das Nações Unidas para a Infância (do inglês <i>United Nations Children's Fund</i>)
UTM	Universal Transversa de Mercator
UTB	Unidade Territorial Básica
UTR	Unidade Territorial Rural
WHO	<i>World Health Organization</i> (em português, OMS)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	16
2.1. Objetivo geral	16
2.2. Objetivos específicos.....	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1. Deficiência dos serviços de saneamento básico no meio rural	18
3.2. Sistemas de tratamento de esgoto descentralizados	24
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
4.1. Localização e aspectos territoriais da área de estudo	32
4.2. Aspectos da densidade populacional da área de estudo.....	36
4.3. Coleta e análise de dados geoespaciais	39
5. Resultados e Discussões	43
5.1. Panorama da situação da estrutura fundiária da área de estudo	43
5.2. Polígonos referentes às edificações existentes na área de estudo a partir a base de dados Google Open Buildings	45
5.3. Análise da distribuição espacial das edificações	46
5.4. Cruzamento dos resultados obtidos com dados da estrutura fundiária da área de estudo	51
5.5. Conclusões.....	57
Referências	59

1. INTRODUÇÃO

Em todo o mundo, um número significativo de pessoas ainda sofre com a falta de acesso à água, saneamento e higiene, segundo dados recentes do Fundo das Nações Unidas para a Infância (UNICEF) e da Organização Mundial da Saúde (OMS). Em 2022, 3,5 bilhões de pessoas ainda não tinham acesso a saneamento gerenciado com segurança, incluindo 419 milhões que praticavam a defecação a céu aberto (OMS/UNICEF, 2023). Ainda de acordo com dados de OMS/UNICEF (2023), a cobertura do saneamento gerido de forma segura é de 46% nas zonas rurais e 65% nas zonas urbanas.

No Brasil, de acordo com o Censo Demográfico de 2022 (IBGE, 2022), cerca de 49 milhões de pessoas não são atendidas por serviços públicos de coleta e tratamento de esgoto, o que equivale a 24% da população brasileira. De acordo com os dados mais recentes da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua (PNAD/IBGE, 2022), no Brasil existem aproximadamente 31,2 milhões de habitantes em áreas rurais e comunidades isoladas. Apenas 22% desta população rural tem acesso aos serviços públicos de saneamento básico (EMBRAPA, 2021). As dificuldades da oferta desses serviços nas comunidades rurais brasileiras se devem, entre outros fatores, à baixa densidade habitacional, o que exige soluções técnicas diferenciadas das soluções aplicadas nas áreas urbanizadas.

Somado a esse fator, a oferta dos serviços de saneamento básico no meio rural não se configura em um mercado de água e de coleta de esgotos e não tem recebido o devido interesse da maioria das empresas públicas e privadas (Oliveira, 2011; Garrido et al., 2016 e Villalobos, 2017 apud IPEA, 2020).

Para as concessionárias, os serviços de saneamento básico no meio rural não são lucrativos, já que é necessário considerar um custo adicional nessas áreas para prover bens e infraestruturas a grandes distâncias do meio urbano, devido à baixa densidade populacional. (IPEA, 2020).

Nestas circunstâncias, os sistemas descentralizados se apresentam como uma alternativa para o tratamento de esgoto (Tonetti et al., 2018a). Em sua implantação são aplicadas técnicas adequadas para a realidade rural, podendo

ser adaptadas de acordo com cada demanda, avaliando-se os critérios sociais, econômicos e de sustentabilidade (Bieker et al., 2010).

De acordo com os resultados de estudo da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) os sistemas descentralizados são apropriados para comunidades de baixa densidade, onde são mais econômicos do que os sistemas centralizados (Massoud et al., 2009). Mas, ainda é muito difícil o desenvolvimento de estimativas de custos para estes sistemas de coleta e tratamento de esgoto (Massoud et al., 2009).

No que tange à Política Nacional de Saneamento, o Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR), lançado em dezembro de 2019 por meio da Portaria MS nº 3.174/2019, é um instrumento previsto no Plano Nacional de Saneamento Básico (PNSB) composto de diretrizes e estratégias para ações de saneamento básico em áreas rurais, fornecendo bases para planejamento e gestão de serviços e políticas públicas voltadas ao saneamento rural no Brasil.

O PNSR apresenta uma proposta de reclassificação dos setores censitários do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), indicando que os setores onde a densidade demográfica for inferior a 605 habitantes/km² e em cujo entorno exista pelo menos um setor censitário de mesma natureza, serão considerados rurais (BRASIL, 2021). A metodologia do PNSR levou à reclassificação de mais de dez milhões de habitantes que eram considerados residentes em áreas urbanas pelo IBGE: setores censitários com densidade demográfica superior a 605 hab./km² pertencem a um aglomerado de domicílios. Neste caso, no tocante aos resíduos sólidos, apresentariam um maior potencial de atendimento por solução coletiva, que corresponde à coleta porta a porta (BRASIL, 2021). Neste aglomerado ainda ocorreria uma baixa densidade demográfica, pois haveria uma média de 2 a 3 domicílios por quarteirão (10.000 m²) (BRASIL, 2021). O PNSR não apresenta uma discussão semelhante no que se refere à coleta e tratamento de esgotos domésticos. Logo, não há uma indicação a partir de qual densidade populacional passaria a ser mais viável um sistema coletivo ou unifamiliar.

Neste ponto, Tonetti et al. (2021) fez um estudo avaliando a questão da coleta e

tratamento de esgoto ao comparar uma gestão unifamiliar com a coletiva, tendo obtido como resultado dados muito próximos àqueles apresentados no estudo de coleta e destinação de resíduos sólidos indicados no PNSR. O estudo constatou que a partir da distância média de 76 m entre as habitações ou abaixo da densidade de 693 hab./km², os sistemas unifamiliares sempre serão mais adequados que sistemas coletivos para coleta e tratamento de esgoto. Os autores fizeram um estudo de custo a partir do emprego de um sistema unifamiliar composto pela associação de tanque séptico e sumidouro. Comparativamente, no sistema coletivo havia a associação de tanque séptico, filtro anaeróbio e o lançamento em um corpo hídrico. Foram avaliados sistemas unifamiliares que tratam o esgoto doméstico de uma residência com quatro moradores e sistemas coletivos com até 1.000 habitantes.

Os resultados do estudo de Tonetti et al. (2021) podem ser um indicativo de que tanto o tratamento de esgoto descentralizado através de sistema unifamiliar como a coleta de resíduos sólidos porta a porta podem ter um valor para a tomada de decisão muito próximo. E principalmente, a partir de uma determinada densidade populacional (605 hab./km²), essas soluções individualizadas são de difícil viabilidade. Assim, a forma de gestão para a coleta destes resíduos poderia ser definida a partir de valores únicos.

A ausência de referenciais teóricos que auxiliem a tomada de decisões no planejamento de ações estruturais de saneamento nas áreas rurais gera uma lacuna por soluções adequadas para estas áreas.

Assim, o presente trabalho busca aplicar a metodologia desenvolvida no estudo de Tonetti et al. (2021) para uma área rural inserida na Área de Proteção Ambiental (APA) de Campinas, no Estado de São Paulo, a fim de se avaliar para qual parcela das habitações existentes nesta área seria mais viável a implantação de sistemas de tratamento de esgoto descentralizado do tipo unifamiliar. Como resultado, espera-se estabelecer padrões e critérios que venham a auxiliar a tomada de decisões no ciclo de políticas públicas voltadas ao saneamento básico, não apenas para o município de Campinas, mas também em outras áreas rurais brasileiras.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo geral

Analisar a viabilidade da instalação de sistemas de tratamento de esgoto descentralizados do tipo unifamiliar ou coletivo a partir da verificação da distribuição espacial das habitações rurais identificadas na Área de Proteção Ambiental (APA) de Campinas.

2.2. Objetivos específicos

- Elaborar o mapeamento da estrutura fundiária da APA de Campinas;
- Realizar o levantamento e análise dos dados espaciais e populacionais das edificações existentes na APA de Campinas;
- Determinar o número de edificações em que seria mais viável a implantação de sistemas unifamiliares de tratamento de esgoto;
- Relacionar a distribuição espacial das edificações com a estrutura fundiária da área de estudo.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A área rural brasileira é classificada pelo Manual da Base Territorial (IBGE, 2014) como “aquela que não foi incluída no perímetro urbano por lei municipal. Caracteriza-se por uso rústico do solo, com grandes extensões de terra e baixa densidade habitacional. Incluem campos, florestas, lavoura, pastos, etc.”. O espaço rural, segundo a regra oficial, abrange as áreas externas ao perímetro urbano legalmente definido (IPEA, 2014).

De acordo com Kageyama (2008) *apud* Cella et al. (2018), há duas ideias sobre o que é rural: a primeira, é que ruralidade tem na sua essência a questão geográfica; e a segunda é que rural é uma área afastada ou isolada. Dessa forma, o rural poderia ser entendido como uma região mais distante, especializada na produção primária (agricultura, pesca, pecuária) e com baixa densidade populacional.

A densidade populacional é um dos critérios que diferenciam as comunidades rurais das comunidades urbanas, sendo que as comunidades rurais possuem uma densidade populacional mais baixa que as comunidades urbanas (Bispo e Mendes, 2012).

Logo, a definição do conceito de rural é estratégica para a formulação e implementação de políticas públicas, pelo seu potencial de contribuir para o alcance de maior efetividade das ações direcionadas às populações rurais, dentre elas as de saneamento básico (Rezende et al., 2019).

O PNSR (2019) destaca a relevância do processo de ocupação do território brasileiro para o desenvolvimento das ações de saneamento. Tal desenvolvimento sofreu forte influência dos ciclos econômicos e da dinâmica demográfica, que resultaram, entre outros aspectos, na composição de amplos espaços territoriais de ocupação populacional rarefeita, caracterizados por pequenas aglomerações populacionais ou domicílios dispersos.

Estes espaços são caracterizados, entre outros aspectos, pela falta de acesso das populações aos serviços adequados de saneamento básico. De acordo com o PNAD/IBGE (2022), dentre os 31,2 milhões de brasileiros que habitam áreas

rurais e comunidades isoladas, cerca de 24 milhões de pessoas (78%) não têm acesso aos serviços públicos de esgotamento sanitário.

Este número pode ser maior do que os valores reais, já que os dados de saneamento básico disponíveis caracterizam de forma imprecisa e imperfeita a situação do saneamento nas áreas rurais. Além disso, as variáveis e indicadores não revelam aspectos da prestação dos serviços e da apropriação da tecnologia utilizada, restringindo-se, em geral, à dimensão quantitativa da oferta e da demanda dos serviços (Brasil, 2021).

3.1. Deficiência dos serviços de saneamento básico no meio rural

A baixa disponibilidade de dados sobre os componentes do saneamento básico no Brasil representa uma grande lacuna. Com relação à água e ao esgoto, o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), de responsabilidade do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR), a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD), elaborada pelo IBGE, e o Cadastro Único para Programas Sociais (CadÚnico) são as bases centrais. Entretanto, há uma grande ausência de dados de esgotamento em mais de 2 mil municípios e de abastecimento de água em mais de 300 municípios do total de 5.570 do país. Dessa forma, iniciativas de oferta de projetos e recursos para alcançar os municípios com os maiores déficits esbarram na falta de informações, prejudicando a população, especialmente em áreas mais isoladas (Kuwajima et al., 2020).

No que tange ao saneamento básico, a população rural como um todo pode ser considerada como excluída. Nas ações de políticas públicas o saneamento básico não é uma das prioridades práticas da agenda, o que dificulta os processos de universalização dos serviços (Silva; Freiria, 2019).

Na região rural do município de Campinas (SP), por exemplo, residem aproximadamente 25 mil pessoas, e não existem dados que retratam a situação do saneamento local ou mesmo informações sobre o abastecimento de água destas comunidades (Figueiredo et al., 2023). Destaca-se que de acordo com o IBGE, o município de Campinas ocupou a 12ª posição no *ranking* que mede o PIB (Produto Interno Bruto) do Brasil.

O PNSR (2021) promoveu uma reclassificação de áreas consideradas urbanas pelo Censo Demográfico do IBGE de 2010 como sendo áreas rurais, resultando em uma população rural brasileira maior do que aquela considerada como oficial pelo IBGE. Essa diferença também influencia a avaliação sobre a cobertura e a qualidade da prestação dos serviços de saneamento básico no meio rural apresentadas no PNSR (IPEA, 2023).

Na América Latina, segundo dados do Programa Conjunto de Monitoramento (JMP) da OMS e do UNICEF para Saneamento e Higiene, 75% da população total tem acesso seguro à água, sendo que na região rural esse número cai para 53%. No que se refere à oferta dos serviços públicos de abastecimento de água e esgotamento sanitário, apenas 34% da população total é atendida, sendo que para a região rural, não há dados específicos (OMS/UNICEF, 2021).

O saneamento inadequado é uma das principais causas de morte e doenças em países ao redor do mundo, causando 432.000 mortes por diarreia anualmente e contribuindo para várias doenças tropicais negligenciadas, incluindo infecções por vermes intestinais, esquistossomose e tracoma (Andrés et al., 2021).

Devido à falta ou inadequação de instalações de tratamento de águas residuais, estes efluentes são frequentemente despejados em corpos d'água superficiais resultando em poluição e degradação de mananciais. Muitas pessoas em países em desenvolvimento do mundo ainda dependem de águas superficiais não tratadas como fonte básica de abastecimento doméstico. Isso ocorre porque existem sistemas de abastecimento de água inadequados, sendo que o problema se agrava ainda mais nas áreas rurais (Edokpayi et al., 2017).

De acordo com USEPA (2001), os sistemas individuais de tratamento de esgoto, se adequadamente localizado, projetados, construídos e operados, representam uma ameaça relativamente menor para as fontes de água potável em relação aos despejos inadequados de águas residuárias. Por outro lado, se instalados e operados de forma inadequada, sistemas de tratamento de esgoto locais como tanque sépticos podem ser uma fonte significativa de contaminação da água subterrânea, podendo causar surtos de doenças transmitidas pela água e outros efeitos adversos à saúde.

Devido à deficiência de sistemas públicos de distribuição de água e coleta de esgoto sanitário nas áreas rurais brasileiras, estas se caracterizam pelo uso de fontes de alternativas de saneamento como a captação de água por poços subterrâneos ou em mananciais superficiais sem tratamento, a utilização de fossas rudimentares e outras formas de disposição de esgoto muitas vezes inadequadas. Quando depositado a céu aberto o esgoto doméstico pode ser carregado para os cursos d'água devido à ação das chuvas. O risco de contaminação também ocorre no entorno das fossas rudimentares com a elevação do lençol freático em períodos de chuva (Ferrete, Borges e Rosolen, 2007).

Historicamente, investimentos no setor de saneamento se concentraram em centros urbanos, deixando populações rurais à margem (IAS, 2022). As políticas públicas para o setor de saneamento básico, o contexto histórico e a conjuntura atual não têm se mostrado favoráveis ao atendimento aos domicílios rurais (Rezende et al., 2019). Os investimentos no setor de saneamento apresentam uma priorização das ações para o público urbano em detrimento do público rural (Silva, 2020).

No que se refere à legislação brasileira, não existem leis específicas para o saneamento rural. Embora apresente metas desafiadoras para a universalização do saneamento básico no Brasil (99% da população brasileira com acesso à água e 90% com acesso à coleta e tratamento de esgotamento sanitário até o ano de 2033), o chamado “novo” marco legal do saneamento aprovado pela Lei nº 14.026/2020, apresenta soluções vagas para as áreas rurais (Silva, 2020).

Nas áreas rurais e isoladas existe a necessidade de se valorizar, além das questões técnicas de engenharia pertinentes, os aspectos sociais e particulares de cada comunidade, modelos de sensibilização e capacitação, bem como modelos de acompanhamento e gestão pós-instalação dos sistemas de saneamento (Silva, 2020). No entanto, a Lei nº 14.026/2020 faz uma única abordagem a esse respeito em seu Art. 48:

VII - garantia de meios adequados para o atendimento da população rural, por meio da utilização de soluções compatíveis com as suas características econômicas e sociais peculiares (BRASIL, 2020).

O texto da lei não especifica em nenhum trecho o que vêm a ser as características sociais peculiares a que se refere, subjetivando esse importante dado de acordo com o ponto de vista de quem analisa a lei (Silva, 2020).

A Lei nº 14.026/2020 determina ainda que “as normas de referência para regulação dos serviços públicos de saneamento básico devem possibilitar a adoção de métodos, técnicas e processos adequados às peculiaridades locais e regionais”, porém não esmiúça quais seriam essas características peculiares, tampouco estabelece metas para o saneamento nas áreas rurais.

Os assentamentos informais como favelas, loteamentos irregulares e clandestinos, ocupações, etc. têm características físicas complexas, que encarecem a execução de redes de abastecimento de água e esgotamento sanitário e dificultam a operação dos sistemas nesses locais. A população rural, por outro lado, foi esquecida nessa lei (Furigo, 2022 *apud* Gravas, 2022).

De acordo com dados publicados pelo Instituto Trata Brasil (2024), após três anos da sanção da Lei nº 14.026/2020, o ano de 2023 se caracterizou até o presente momento como o ano com maior quantidade de contratos assinados para concessão dos serviços de abastecimento de água e esgotamento sanitário nos municípios brasileiros, de acordo com a série histórica iniciada em 2016. Porém, segundo a Agência Brasil (2024), o Brasil ainda registra grandes desigualdades regionais no acesso ao saneamento, com poucos avanços para a cobertura total da população. A persistência da desigualdade de acesso aos serviços de saneamento ainda atinge, sobretudo, as populações mais vulneráveis como a rural.

Segundo a USEPA, ‘Justiça Ambiental’ significa o tratamento justo e o envolvimento significativo de todas as pessoas, independentemente de renda, raça, cor, nacionalidade, filiação tribal ou deficiência, na tomada de decisões no âmbito das políticas públicas que afetam a saúde humana e o meio ambiente para que as pessoas estejam totalmente protegidos contra efeitos danosos à saúde humana e ao ambiente e tenham acesso equitativo a um ambiente saudável, sustentável e resiliente para viver e desenvolver suas atividades cotidianas.

Contrariando o conceito de Justiça Ambiental, os dados do Censo 2022 (IBGE, 2022) dão conta de que a população preta, parda e indígena do Brasil é a mais prejudicada pela falta de acesso aos serviços de saneamento básico. Dentre as 49 milhões de pessoas vivendo sem coleta de esgoto em seus lares, cerca de 70% declaram ser negros ou indígenas.

Esses dados confirmam o conceito de racismo ambiental, definido por Monteiro et al. (2023):

O racismo ambiental se manifesta por várias situações adversas, como enchentes, alagamentos, deslizamentos, rompimentos de barragens, invasões de territórios, e acesso limitado à água potável e saneamento básico, evidenciando a injustiça ambiental e o racismo enfrentados por grupos vulneráveis, como comunidades indígenas, quilombolas, ribeirinhas e periféricas ao longo de suas vidas (Monteiro et al., 2023).

A discussão sobre justiça ambiental tem o potencial de influenciar profundamente as políticas públicas, as práticas industriais e a legislação relacionada à matéria. Portanto, o projeto de desenvolvimento sustentável não deve se limitar a inovações tecnológicas que perpetuam a lógica de consumo exacerbado do modelo econômico atual, mas sim deve considerar, além da eficiência econômica, a justiça social. É crucial que as políticas públicas e as legislações relacionadas ao meio ambiente levem em consideração a questão do racismo ambiental, garantindo o acesso igualitário à água potável e ao saneamento básico para todas as comunidades, independentemente de raça ou origem étnica (Almeida et al., 2015).

A falta de acesso adequado ao saneamento básico não apenas perpetua as condições precárias de vida, como também contribui para a vulnerabilidade dessas comunidades, expondo-as a riscos de saúde e morte prematura (Jesus, 2020 *apud* Cirne; Sousa, 2024).

3.1.1. Aspectos de singularidades e densidade populacional nos espaços rurais brasileiros

É preciso ressaltar que a implementação de soluções de saneamento rural é mais complexa do que a simples instalação de sistemas de tratamento. O

saneamento rural objetiva principalmente a melhoria da qualidade de vida das pessoas, levando em conta o aspecto social e o reconhecimento do valor das tecnologias implantadas para seus beneficiários. As peculiaridades e preferências das comunidades, sejam elas ribeirinhas, quilombolas, indígenas, ou outros grupos tradicionais, precisam ser consideradas (Silva, 2020).

O termo “rural” exprime oposição àquilo que é urbano, mas na prática, abrange ambientes muito variados, situações e ruralidades muito distintas, além de grande diversidade ambiental. Esse entendimento do rural pela via do saneamento traz a percepção de como o rural é rico, polissêmico, cheio de diferenças que acentuam aspectos socioambientais; muito embora a questão ambiental seja muito importante, a cultura também prevalece, dando muitos indicativos de soluções que já são usadas há gerações pelas diversas comunidades (Rezende, 2022).

Devido à baixa densidade populacional nas áreas rurais e comunidades isoladas, a implantação de sistemas de tratamento de esgoto centralizados se tornam mais difíceis. Do ponto de vista dos custos de implantação, a centralização do tratamento de efluentes onera o investimento nas estruturas sanitárias, pela inversão de capital em ligações prediais, redes, interceptores, emissários e estações de bombeamento. Esse acréscimo dos custos podendo superar os 60% prejudica o investimento em áreas isoladas e na zona rural (Oliveira Júnior, 2013).

Nas áreas rurais e isoladas, cujas características são a dispersão territorial, a baixa densidade populacional e por vezes a concentração de pobreza, estudos demonstram que as soluções centralizadas e tradicionais de abastecimento de água e esgotamento sanitário não são as mais adequadas, apontando soluções descentralizadas e individuais para viabilizar o atendimento das famílias, com tecnologias já desenvolvidas e testadas, implantadas e geridas preferencialmente com a participação ativa das próprias comunidades (Pinho et al., 2021).

As características específicas do meio rural, como dispersão geográfica e localização em áreas de difícil acesso, resultam em custo mais elevado para o

fornecimento de serviços de saneamento nos mesmos moldes de provimento do meio urbano (IPEA, 2023).

As áreas rurais, por apresentarem realidades variadas e complexas, requerem técnicas de tratamento de esgoto diferentes do meio urbano, ou seja, técnicas que se adaptem às especificidades locais. O meio rural brasileiro é um território amplo e constituído por populações com identidades variadas e peculiares, onde o tema saneamento deve ser encarado com ampla gama de soluções (Calgaro et al., 2020).

Diante dos aspectos apresentados, verifica-se que a elaboração de referenciais e parâmetros para a gestão e escolha de soluções de saneamento adequadas para as áreas rurais é de suma importância para a preservação da qualidade dos mananciais superficiais e subterrâneos que abastecem as populações que habitam essas áreas.

3.2. Sistemas de tratamento de esgoto descentralizados

Também conhecidos como sistemas locais de tratamento de esgotos, os sistemas descentralizados de tratamento de efluentes domésticos são caracterizados por conduzir o tratamento próximo à fonte geradora (Wilderer e Schref 2000). Tal solução emprega técnicas apropriadas para a realidade rural e que podem ser adaptadas de acordo com cada demanda por meio da avaliação social, econômica e critérios ambientais (Bieker, Cornel e Wagner 2010). Assim, de acordo com a diversidade e características dos ambientes rurais, podem ser estudados sistemas de tratamento de esgoto descentralizados para atenderem essas áreas.

De acordo com estudos da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), os sistemas de tratamento de águas residuais descentralizados são apropriados para comunidades de baixa densidade, onde são mais econômicos do que os sistemas centralizados (Massoud et al. 2009). Segundo Lens et al. (2001), Gikas e Tchobanoglous (2009) e Massoud et al. (2009), a gestão

descentralizada de águas residuais vem se tornando popular por seu uso menos intensivo de recursos e forma mais ecologicamente sustentável de saneamento.

Os custos envolvidos nos sistemas descentralizados de tratamento de esgoto nas áreas rurais também se caracterizam como um dos aspectos mais importantes destas tecnologias, devido ao histórico de baixos investimentos nessas áreas, principalmente no que tange ao saneamento.

A maioria dos custos envolvidos em sistemas descentralizados são relacionadas à unidade de tratamento (Hong et al. 2005). Ao construir um sistema de coleta para sistemas descentralizados, o uso de grandes diâmetros de tubos e com longas extensões é evitado, reduzindo também os serviços de escavação de grandes extensões de valas (Libralato et al. 2012). Em sistemas centralizados, no entanto, a maior parte dos custos está relacionada à construção e manutenção do sistema de coleta (Libralato et al. 2012).

Os custos com tubulação podem chegar a mais de 60% do valor do sistema (Jantrânia e Gross 2006). Portanto, a construção de sistemas centralizados em comunidades rurais demanda altos investimentos, o que pode inviabilizar o projeto, dependendo da extensão da rede (Parkinson e Tayler 2003). Assim, a necessidade de implementações ambiental, econômica e socialmente sustentáveis de sistemas de coleta e tratamento de esgoto em áreas isoladas é amplamente reconhecida.

Especificamente em relação à questão econômica, ainda é muito difícil desenvolver estimativas de custos para esses sistemas de coleta e tratamento de esgoto. Isso se deve a variações nas condições de cada comunidade (densidade populacional, área) e requisitos de desempenho local (Massoud et al. 2009). No entanto, o aspecto econômico é o critério mais importante para a tomada de decisão na maioria dos países em desenvolvimento.

A USEPA comparou a centralização e a descentralização da gestão de águas residuais por meio de uma avaliação de custos em comunidades rurais (USEPA 1997). O estudo destacou melhor custo-benefício em sistemas descentralizados em áreas rurais em comparação com sistemas centralizados (Massoud et al. 2009). No entanto, essas avaliações se concentram nos custos para construção

de unidades de tratamento de esgoto, não levando em conta os custos com o sistema de coleta (tubulações) demandado pelos sistemas de tratamento.

Os sistemas centralizados estão geralmente associados a regiões metropolitanas ou grandes cidades, com grandes extensões de redes coletoras e bombeamento para transporte, além de estações de tratamento de esgoto (ETE) de grande porte. Tais soluções estão frequentemente associados a sistemas convencionais de tratamento, com uso intensivo de energia, geração excessiva de lodo e certas dificuldades operacionais, consideradas mais sofisticadas; portanto com necessidade de maior aporte de capital para a construção e custos significativos para operação e manutenção (Kato et al. 2019). Isso explica o fato de sistemas centralizados de tratamento de esgoto não serem recorrentes nas áreas rurais.

Já os sistemas descentralizados estão geralmente associados a sistemas alternativos com custo de implantação e operação reduzidos, menor porte e tratamento de esgoto no próprio local da comunidade servida. Em geral, as redes coletoras têm extensões reduzidas e o tratamento é mais simplificado (Kato et al. 2019), sendo mais apropriados para as áreas rurais e isoladas, inclusive com técnicas ecoeficientes disponíveis, fazendo com que os recursos disponíveis no esgoto possam ser recuperados, voltando aos seus os ciclos naturais.

O Manual de Gerenciamento de Sistemas Descentralizados de Águas Residuais (USEPA, 2005) admite dois tipos de sistemas descentralizados: *onsite* e *cluster*. Os sistemas tipo *onsite* ou unifamiliares, também conhecidos pela sigla OWTS (Onsite Wastewater Treatment System), caracterizam-se pelo tratamento e disposição final do efluente na propriedade onde é produzido (Queiroz et al. 2019). Os sistemas tipo *cluster* ou coletivos atendem a mais de um único domicílio, chegando a atender 100 residências ou até mais (USEPA 2004). O sistema tipo *cluster* é representado por dois ou mais domicílios conectados a uma rede coletora que conduz o esgoto para o sistema de tratamento e disposição final (Tonetti et al., 2021).

Assim, os sistemas de tratamento de esgoto descentralizados tendem a serem mais viáveis para o meio rural. Porém, no Brasil não há uma metodologia definida para a escolha do tipo de sistema de tratamento descentralizado a ser adotado: coletivo ou unifamiliar.

Embora o PNSR indique que a partir da densidade demográfica de 605 hab./km² o potencial de atendimento por soluções coletivas é mais efetivo para coleta e destinação de resíduos sólidos, não há um referencial de densidade demográfica para o melhor sistema de coleta e tratamento de esgoto sanitário a ser adotado.

Determinar o padrão de custo-benefício para sistemas de tratamento de esgoto descentralizados é metodologicamente desafiador devido à escassez de ferramentas de apoio à tomada de decisão (Huang et al., 2022).

Em uma pesquisa recente, Huang et al. (2022) desenvolveu uma modelagem de custo-benefício para sistemas descentralizados de tratamento de esgoto com base no estudo de algoritmos. Este modelo envolveu compensações na economia de escala e tecnologia do sistema de tratamento de águas residuais *versus* o custo e consumo de energia do sistema de coleta de esgoto. Os custos considerados no estudo envolveram demanda ambiental, cobertura dos serviços de tratamento de esgoto em área rural, complexidade topográfica e grau de densidade habitacional na área do estudo. O estudo demonstrou que os custos de implantação dos sistemas unifamiliares de tratamento aumentaram proporcionalmente à complexidade topográfica dos aglomerados rurais dispersos onde o estudo foi realizado, no leste da China.

Magalhães Filho et al. (2019) desenvolveu uma ferramenta computacional (software de banco de dados) para auxiliar na tomada de decisão participativa da escolha, operação e manutenção de soluções sustentáveis de saneamento rural. O estudo foi desenvolvido e aplicado no município de Jaraguari (MS) e levou em conta critérios locais e tipos de tecnologia de tratamento. A ferramenta não se aplica a sistemas de tratamento descentralizados com redes coletoras.

Alguns estudos se dedicaram a comparar os custos entre diferentes tecnologias de saneamento rural aplicadas em determinadas localidades. Por exemplo, Radin et al. (2020) apresentou resultados de uma análise econômica de dois tipos de sistemas de saneamento rural aplicados em Gana, na África Central,

levando em conta fatores como infraestrutura básica de saneamento, saúde e condições socioeconômicas nas comunidades rurais em Gana.

Todavia, não se verifica a existência de muitas publicações recentes, principalmente na América Latina, voltadas a este tema. Água limpa e Saneamento é um dos 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), agenda mundial adotada durante a Cúpula das Nações Unidas para o Desenvolvimento Sustentável em 2015. A agenda prevê a implementação dos 17 ODS por todos os países até 2030. No entanto, no que concerne a ferramentas de apoio à tomada de decisão na gestão de custos do saneamento rural em países subdesenvolvidos, verifica-se uma quantidade pequena de publicações científicas recentes abordando o tema.

No Brasil, Tonetti et al. (2021) avaliou os custos de implantação de sistemas de tratamento de esgoto doméstico descentralizados unifamiliares e coletivos. O estudo admitiu como sistemas unifamiliares aqueles compostos por um único domicílio conectado a um sistema de tratamento por tanque séptico e poço de infiltração ou sumidouro para disposição final do efluente tratado (Figura 1).

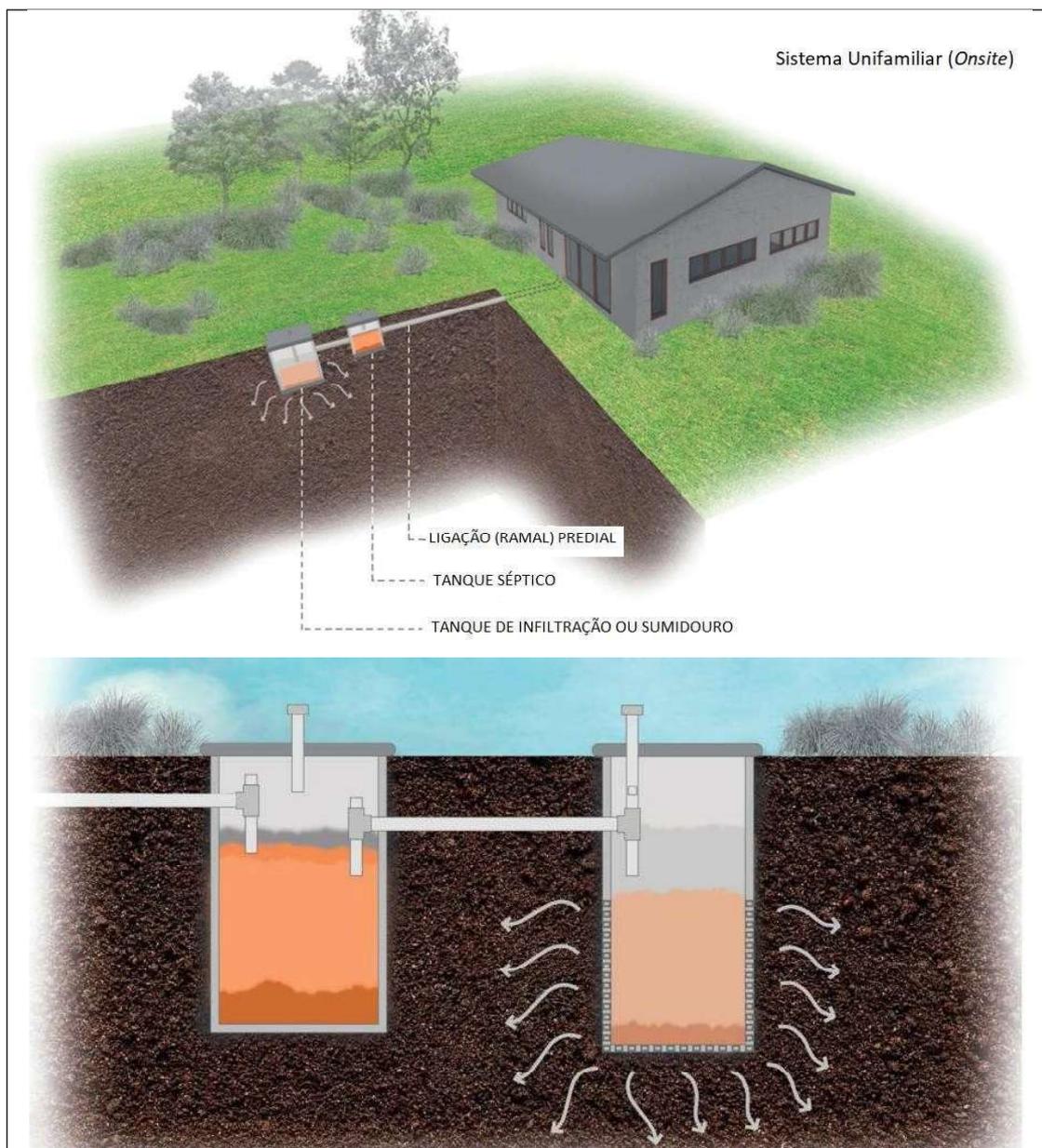


Figura 1 Sistema de tratamento de esgoto descentralizado unifamiliar (*onsite*) composto por tanque séptico e tanque de infiltração ou sumidouro, conforme NBR 17.076 (ABNT 2024). Fonte: Tonetti et al. (2021)

Para os sistemas coletivos, Tonetti et al. (2021) considerou duas ou mais residências conectadas a uma rede coletora conduzindo o esgoto para um sistema de tratamento coletivo composto por tanque séptico e filtro anaeróbio dimensionados a partir da norma brasileira NBR 17076:2024 (ABNT, 2024), que substitui a NBR 13.969:1997 (ABNT, 1997), utilizada na época da realização do trabalho de Tonetti et al. (2021).

A disposição final do efluente tratado considerado no sistema coletivo foi por lançamento em corpo d'água através de emissário (Figura 2).

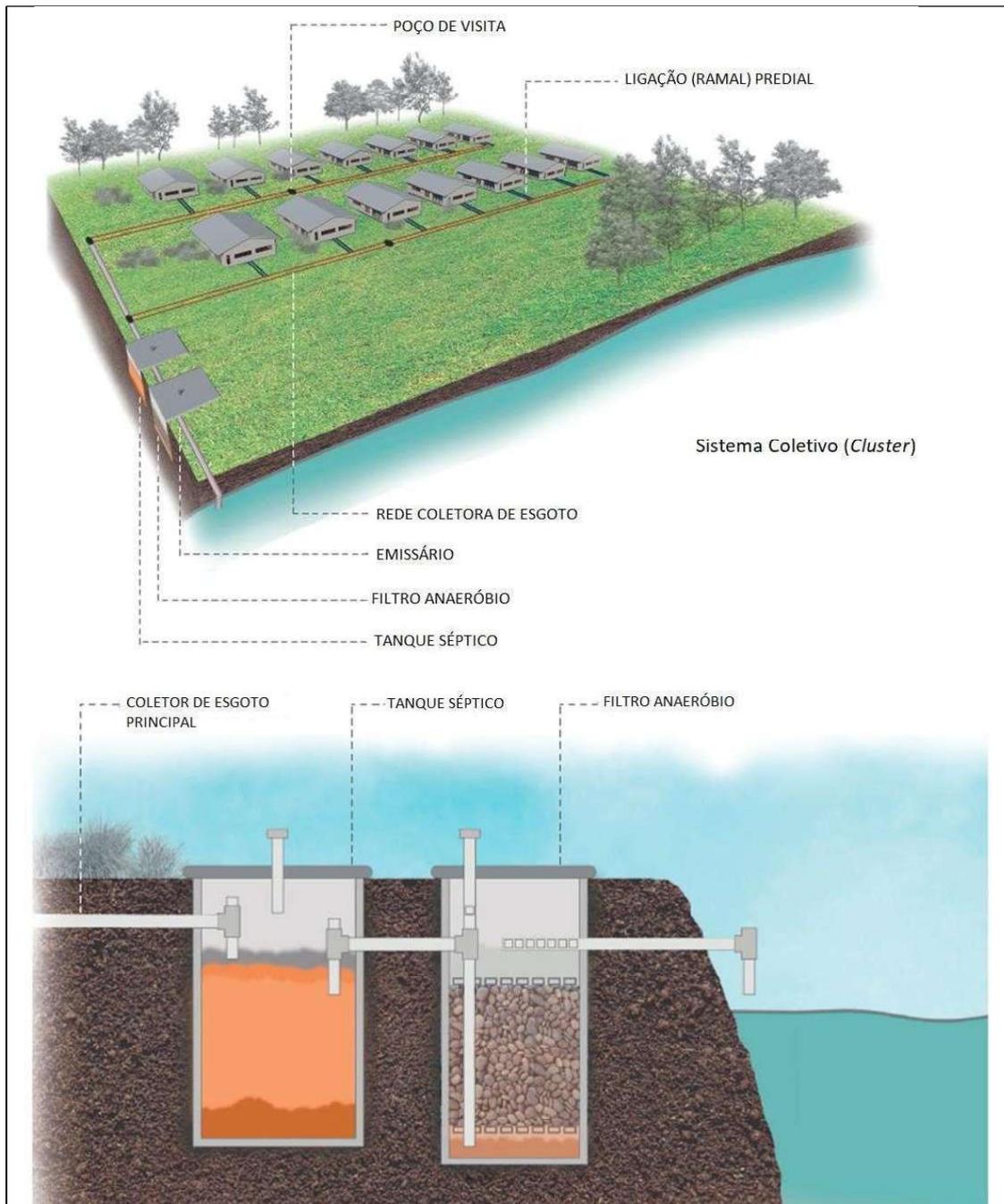


Figura 2 Sistema de tratamento de esgoto descentralizado coletivo (*cluster*) composto por tanque séptico e filtro anaeróbico, conforme diretrizes da NBR 13.969 (ABNT 1997). Fonte: Tonetti et al. (2021)

Através da avaliação da dispersão habitacional e dos custos de implantação das unidades que compõem os diferentes tipos de sistema de tratamento descentralizado (coletivo e unifamiliar), o estudo de Tonetti et al. (2021) avaliou os custos de implantação da linha principal de esgoto e do sistema de tratamento

de águas residuais, visando determinar quando o sistema *onsite* é mais viável economicamente do que o sistema de cluster. Foi demonstrado que à medida que o número de residências aumenta, o custo da linha principal de esgoto do sistema de cluster também aumenta. Como consequência, há uma diminuição da parcela relativa ao custo do sistema de tratamento (fossa séptica + filtro anaeróbio).

Com relação à interferência da distância entre residências, três casos foram observados: até 18 m, a construção do sistema de cluster é mais economicamente viável do que o sistema *onsite*; entre 19 e 75 m, o sistema cluster será mais viável do que o sistema *onsite* com um número mínimo de contribuintes; de 76 m, o sistema *onsite* será sempre o mais viável. Quanto mais alta a contribuição de esgoto per capita e, assim, quanto maior a renda familiar per capita, maior a viabilidade do sistema cluster.

Os resultados do estudo de Tonetti et al. (2021) podem ser uma importante ferramenta para a tomada de decisão na maioria dos países em desenvolvimento para alcançar a universalização dos serviços de tratamento de águas residuais, principalmente em comunidades isoladas em áreas rurais ou descentralizadas, promovendo, portanto, melhores investimentos dos escassos recursos financeiros disponíveis.

Diante dos resultados apresentados pelo estudo de Tonetti et al. (2021), o presente trabalho propõe a aplicação desta metodologia em outras áreas rurais do território brasileiro, utilizando como estudo de caso uma localidade específica. Esta aplicação atuaria no sentido de buscar suprimir a falta de ferramentas de apoio à tomada de decisões no que se refere à implantação de sistemas de tratamento de esgoto em áreas rurais.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Localização e aspectos territoriais da área de estudo

A Área de Proteção Ambiental (APA) de Campinas foi criada pela Lei nº 10.850/2001 (alterada pela Lei Complementar nº 296/2020) como instrumento da política ambiental do município. Com extensão territorial aproximada de 222,79 km², ocupa cerca de 27% do território campineiro (Campinas, 2018). A APA compreende os distritos de Sousas e de Joaquim Egídio, e a região a nordeste do território, entre o distrito de Sousas, o Rio Atibaia e o limite intermunicipal Campinas-Jaguariúna e Campinas-Pedreira, incluindo os bairros Carlos Gomes, Chácara Gargantilha e Jardim Monte Belo (Campinas, 2020). A Figura 3 apresenta a localização da APA de Campinas.

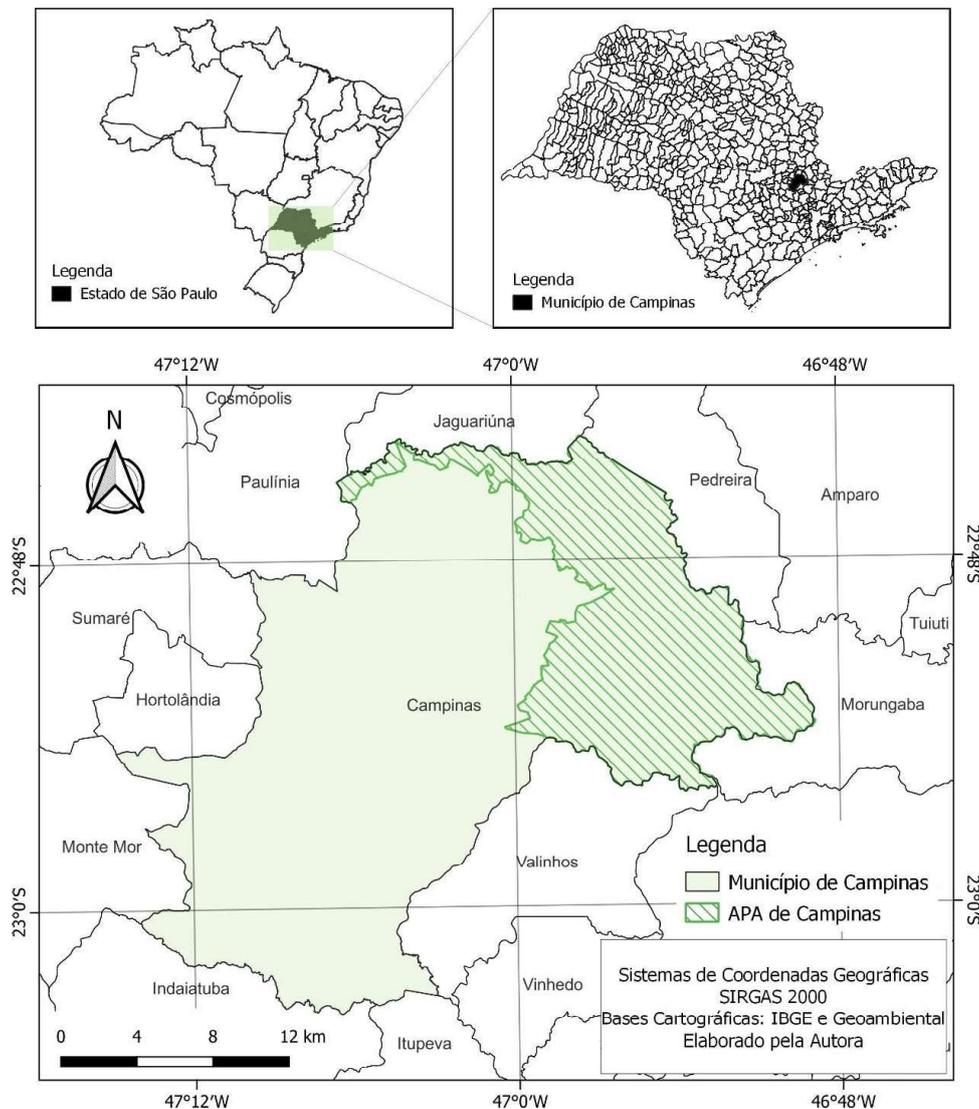


Figura 3 Localização da APA de Campinas (MZ 1). Elaborado pela Autora a partir das Bases Cartográficas IBGE (2021) e SVDS (2018)

De acordo com o macrozoneamento estabelecido pelo Plano Diretor do município ou PD (Campinas, 2006), o qual propõe a divisão territorial em 9 macrozonas (MZ), a APA de Campinas corresponde à macrozona 1 ou MZ1. O Plano Diretor também divide a APA em 8 unidades territoriais de planejamento, sendo 7 unidades territoriais básicas (UTBs) e uma unidade territorial rural (UTR), conforme apresentado na Figura 4.

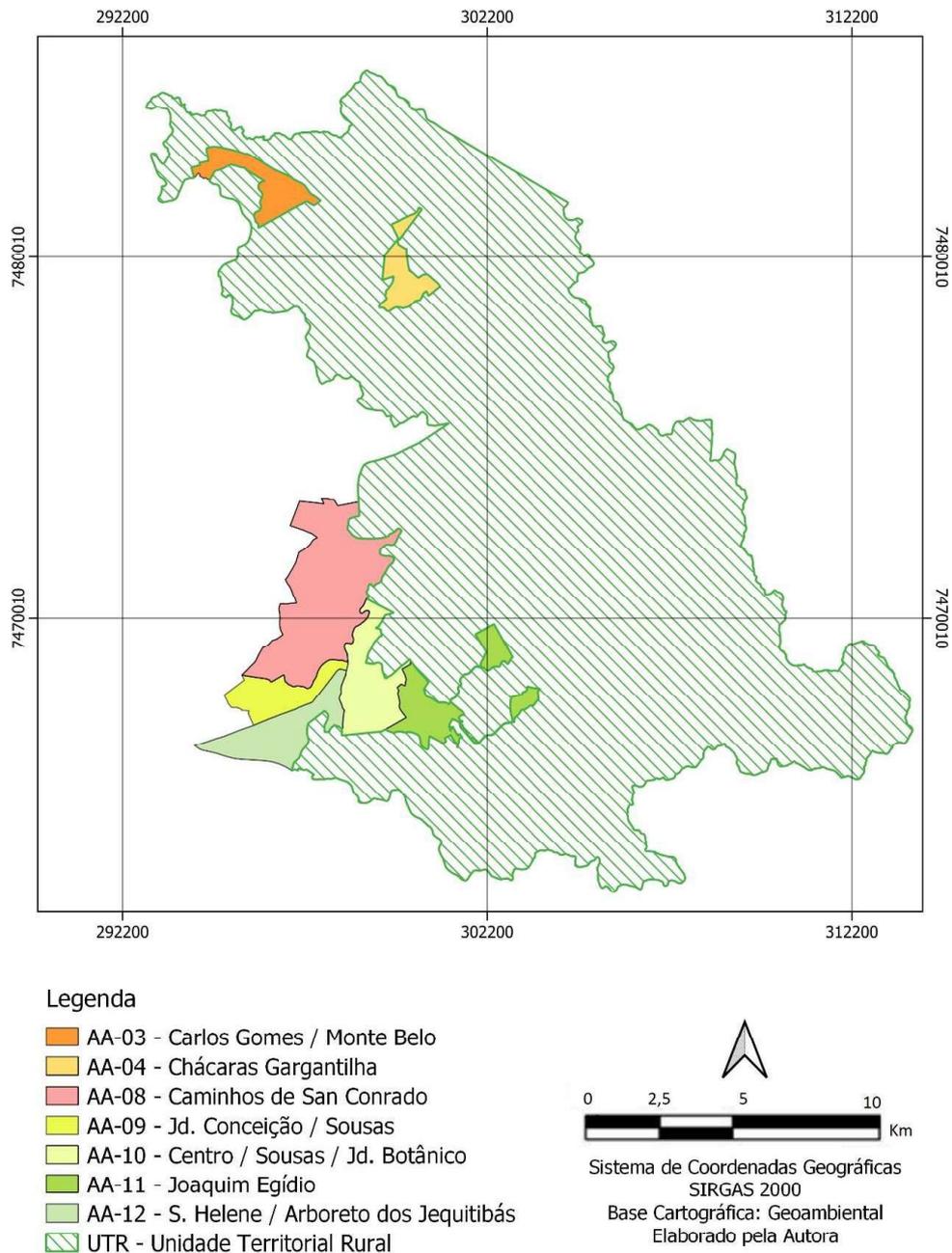


Figura 4 Localização das unidades territoriais de planejamento propostas pelo PD (2006). Elaborado pela Autora a partir de SVDS (2018)

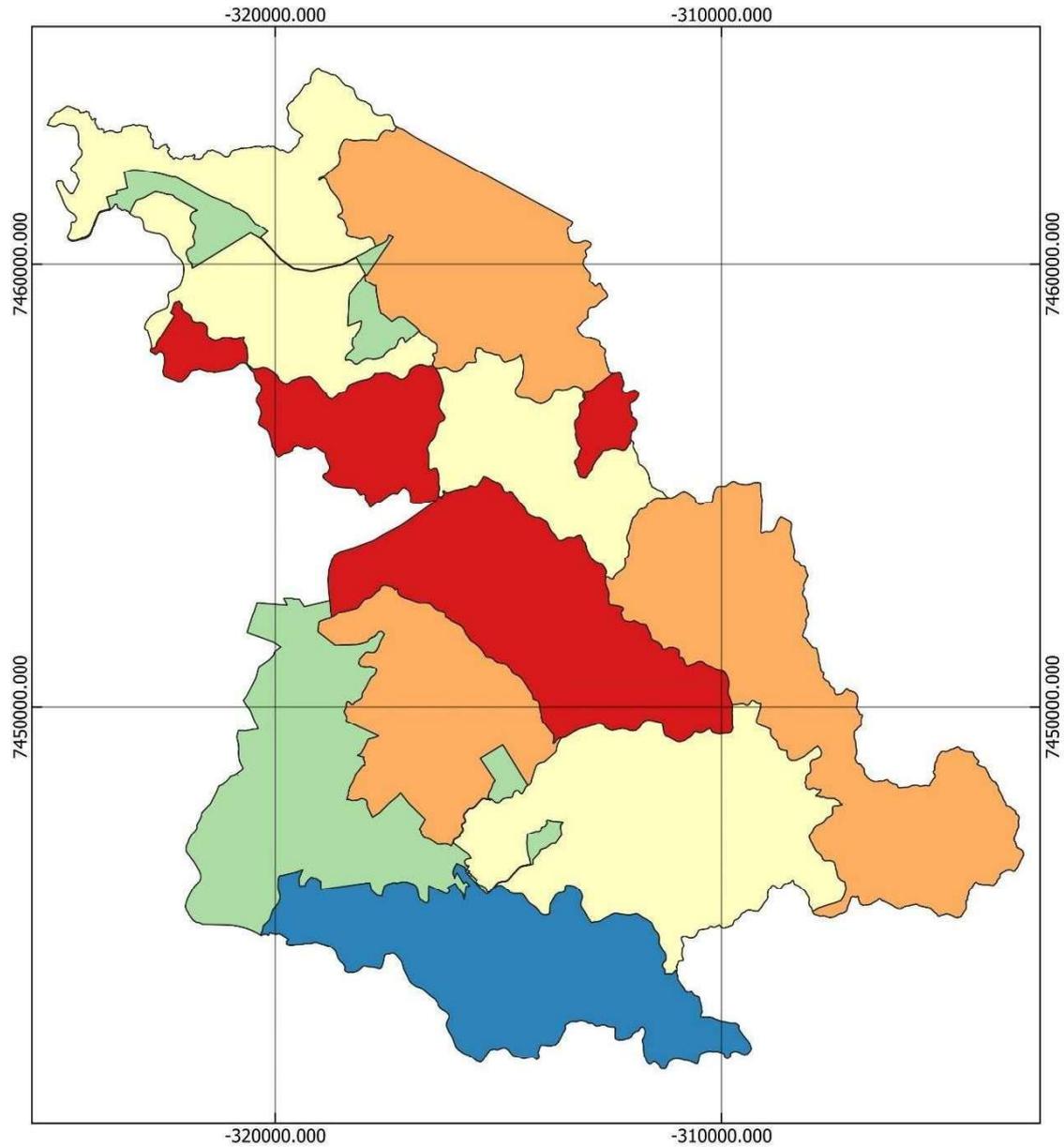
Ainda no âmbito do território da área de estudo, o Plano de Manejo (PM) da Área de Proteção Ambiental de Campinas (Campinas, 2018) estabelece o Zoneamento Ambiental da APA, considerando a divisão de seu território em cinco zonas ou setores de interesse ambiental, sendo estes: Zona de conservação da biodiversidade (ZCB); Zona de conservação geoambiental (ZCG); Zona de manejo sustentável (ZMS); Zona de proteção de mananciais (ZPM) e Zona de ocupação controlada (ZOC).

De acordo com a Lei Complementar nº 295/2020 (CAMPINAS, 2020a), que dispõe sobre parcelamento, ocupação e uso do solo nas áreas rurais e urbanas da APA de Campinas, o zoneamento ambiental define setores ou zonas em uma unidade de conservação com objetivos de manejo e normas específicos, com o propósito de proporcionar os meios e as condições para que todos os objetivos da unidade possam ser alcançados de forma harmônica e eficaz.

Segundo o Plano de Manejo (PM) da Área de Proteção Ambiental de Campinas – TOMO IV – Zoneamento (Campinas, 2018), o processo de ordenamento territorial da APA de Campinas deve ser entendido como um zoneamento ambiental (ZA), uma vez que a criação da APA de Campinas, de acordo com o artigo 2º da Lei municipal nº 10.850/2001, objetiva:

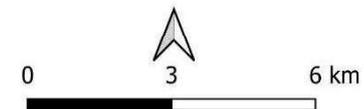
- I - A conservação do patrimônio natural, cultural e arquitetônico da região, visando a melhoria da qualidade de vida da população e a proteção dos ecossistemas regionais;
- II - A proteção dos mananciais hídricos utilizado ou com possibilidade de utilização para o abastecimento público, notadamente as baias de contribuição dos rios Atibaia e Jaguar;
- III - O controle das pressões urbanizadoras e das atividades agrícolas e industriais, compatibilizando as atividades econômicas e sociais com a conservação dos recursos naturais, com base no desenvolvimento sustentável (CAMPINAS, 2001).

O Zoneamento Ambiental foi instituído pela Política Nacional do Meio Ambiente, sendo destacado no Estatuto da Cidade como integrante do planejamento municipal (Instituto Cidades Sustentáveis, 2024). A Figura 5 a seguir apresenta o Mapa de Zoneamento Ambiental da APA de Campinas.



APA Campinas - Zoneamento Ambiental

- Zona de Conservação de Biodiversidade
- Zona de Conservação Geoambiental
- Zona de Manejo Sustentável
- Zona de Ocupação Controlada
- Zona de Proteção de Mananciais



Escala 1:115.000
 Sistemas de Coordenadas Geográficas
 SIRGAS 2000
 Base Cartográfica: Geombiental
 Elaborado pela Autora

Figura 5 Mapa de Zoneamento Ambiental da Área de Proteção Ambiental de Campinas. Elaborado pela Autora a partir de SVDS (2018)

4.2. Aspectos da densidade populacional da área de estudo

A maior parte da APA de Campinas é constituída de área rural e se caracteriza por apresentar baixa densidade de urbanização (Campinas, 2006). Segundo o Censo Demográfico 2010 (IBGE, 2010), a população da APA de Campinas era de 25.195 habitantes, vivendo em domicílios particulares permanentes, distribuídos em uma área aproximada de 223 km² ou 22.300 ha, resultando em uma densidade demográfica total de 102 hab./km². Esta população correspondia, à época, a 2,08% do total de habitantes de Campinas, que no mesmo período registrou população superior a um milhão de habitantes.

Os dados apresentados para o Censo 2010 indicam que a maior parte dos moradores estavam concentrados nas Unidades Territoriais Básicas (UTBs), que fazem confluência com o perímetro urbano. A Unidade Territorial Rural (UTR), por sua vez, foi a que apresentou a menor quantidade de habitantes (Campinas, 2018).

As áreas urbanas existentes na APA de Campinas correspondem a 23% do total de seu território e concentram 88% da população desta unidade de conservação, apresentando uma densidade demográfica de 741 hab./km², ou seja, quase 7 vezes superior ao mesmo índice para a APA como um todo (Campinas, 2018). Os dados do Censo Demográfico do IBGE (2010) para a APA de Campinas encontram-se resumidos na Tabela 1 e na Figura 6.

Unidade Territorial	Área (km ²)	População (hab.)	Densidade (hab./km ²)	Domicílios particulares permanentes
AA-03	2,7	801	296	252
AA-04	1,7	5641	377	187
AA-08	14,6	6.495	444	2.059
AA-09	1,3	5.770	4.438	1.656
AA-10	4,6	4.428	962	1.475
AA-11	3	808	269	273
AA-12	1,1	2.540	2.309	798
UTR	217,9	3.712	17	925
Total APA	246,9	25.195	102	7.625

Tabela 1 Dados da densidade populacional da APA de Campinas. Fonte: IBGE (2010) apud Campinas (2018)

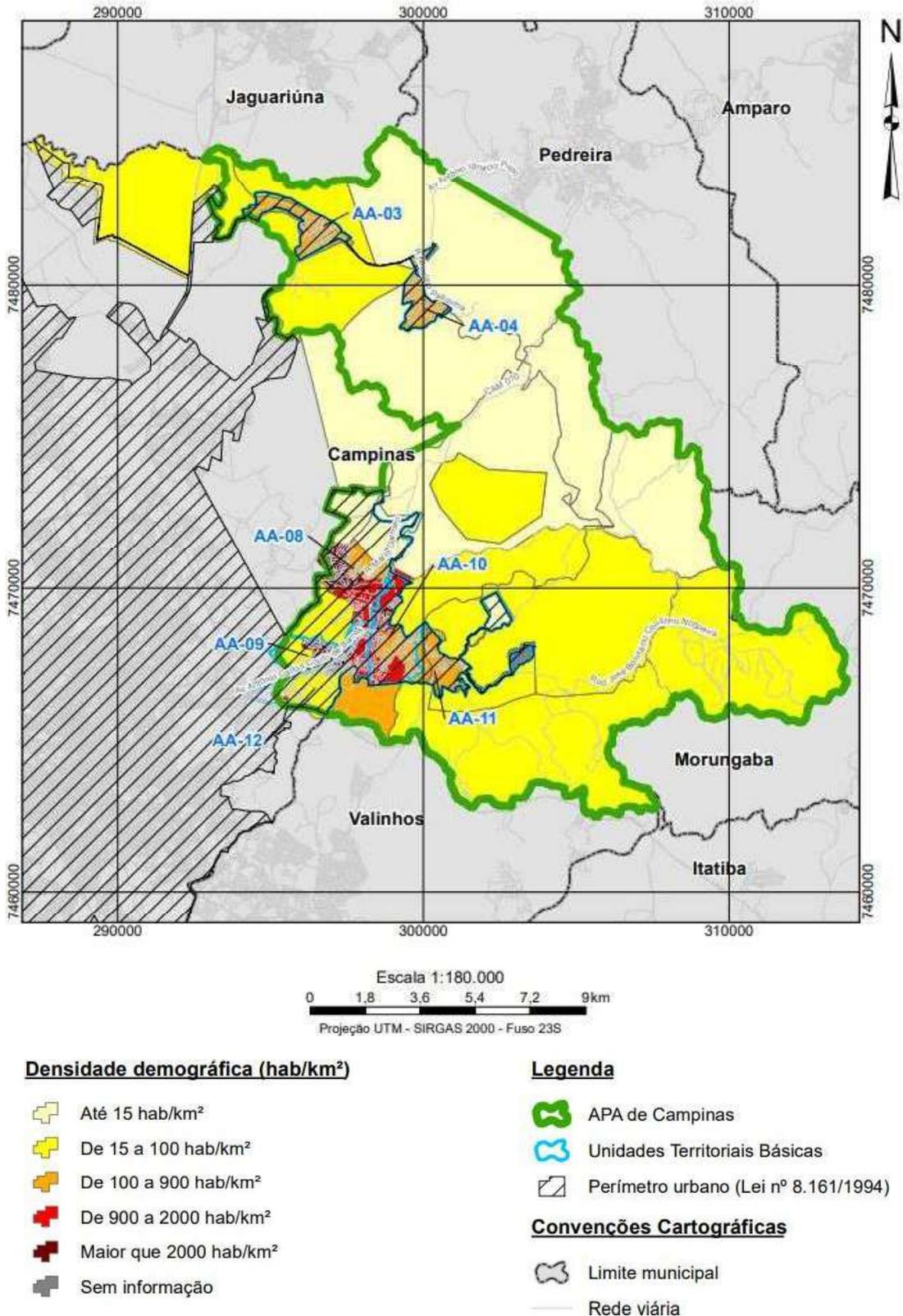


Figura 6 Mapa de densidade demográfica. Fonte: Plano de Manejo da APA de Campinas (Campinas, 2018).

Mais recentemente, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) divulgou o Censo Demográfico de 2022, o qual indicou que a população do município de Campinas é, atualmente, de 1.139.047 habitantes, com densidade demográfica de 1.433,54 hab/km² (IBGE, 2022).

Os dados de densidade populacional da APA de Campinas não foram divulgados no Censo Demográfico de 2022, porém, analisando-se a população por distritos do Panorama do Censo 2022 (IBGE, 2022), foi possível verificar os aspectos de densidade populacional dos distritos de Sousas e Joaquim Egídio, que juntos ocupam aproximadamente 70% da área total da APA de Campinas. A Tabela 2 apresenta esses dados.

Distrito	Área (km ²)	População (hab.)	Domicílios	Média de moradores por domicílio	Densidade demográfica (hab./km ²)
Sousas	66,28	17.565	7.501	2,80	265,01
Joaquim Egídio	89,36	1.332	1.027	2,70	14,91

Tabela 2 Aspectos de densidade populacional distritos Sousas e Joaquim Egídio. Fonte: IBGE, 2022

A Lei Complementar nº 295/2020 (CAMPINAS, 2020a) que dispõe sobre parcelamento, ocupação e uso do solo nas áreas rurais e urbanas da APA de Campinas estabelece que as novas edificações para fins habitacionais em imóveis rurais com atividades ou empreendimentos admissíveis aprovados ou regularizados deverão atender o conceito de Densidade Habitacional Máxima (DHM), conforme definido no Plano de Manejo da APA Campinas:

I - A densidade habitacional para propriedades rurais de até 1 (um) módulo, estabelecido pela Fração de Mínima de Parcelamento, será de 4 (quatro) unidades habitacionais unifamiliares;

II - Para cada módulo excedente da propriedade rural, será permitida a construção de mais 1 (uma) unidade habitacional unifamiliar (CAMPINAS, 2020a);

A Lei Complementar nº 295/2020 (CAMPINAS, 2020a) define ainda densidade habitacional rural máxima (DHRM) como a quantidade máxima de unidades habitacionais unifamiliares, conforme a fração mínima de parcelamento (FMP), definido pelo zoneamento do Plano de Manejo da APA de Campinas.

4.3. Coleta e análise de dados geoespaciais

Os dados geoespaciais utilizados como bases para a realização do presente trabalho foram obtidos a partir de consultas a banco de dados abertos ou públicos como: Bases Cartográficas Contínuas (IBGE), Infraestrutura de Dados Espaciais do Estado de São Paulo (IDESP), Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR), Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), Informações Ambientais Especializadas (Geoambiental) e Banco de Dados Espaciais de Campinas da Secretaria do Verde, Meio Ambiente e Desenvolvimento do Sustentável da Prefeitura Municipal de Campinas (SVDS). Por meio destas bases de dados foi possível obter a localização georreferenciada da área da APA no território de Campinas, bairros adjacentes, manchas de urbanização circunvizinhas e subdivisões do território.

Para obtenção dos polígonos referentes às edificações existentes na área de estudo, foi utilizado o portal *Open Buildings V3 Polygons*, o qual consiste em uma base de dados criada e disponibilizado pelo Google, com informações detalhadas sobre a localização e geometria de edificações em nível global.

O portal fornece a geolocalização das edificações em formato de polígonos armazenados em formato .csv, que serão convertidos em camadas vetoriais e transformadas em mapas. A partir das bases cartográficas consultadas, foram extraídos arquivos compatíveis com o QGIS, um software de Sistema de Informação Geográfica (SIG) livre e gratuito com versão em português, utilizado para a elaboração de mapas e produtos cartográficos com camadas vetoriais e/ou *raster* de metadados disponibilizados pelos diversos portais mencionados. Para a elaboração deste trabalho, foi utilizada a versão do QGIS 3.22.15.

Por meio das ferramentas de análise espacial do software QGIS, que consistem no processo de manipulação de informações espaciais para extrair novas informações a partir de dados originais, foi possível obter o raio de influência ou a distância entre as edificações da área de estudo. A partir disto, identificou-se a parcela das edificações que possuem distâncias entre si superiores e 76 metros e, portanto, enquadraram-se na categoria de edificações nas quais os sistemas de tratamento de esgoto unifamiliares seriam mais viáveis. O processo de extração dos dados se deu pelo fluxo de trabalho apresentado na Figura 7.

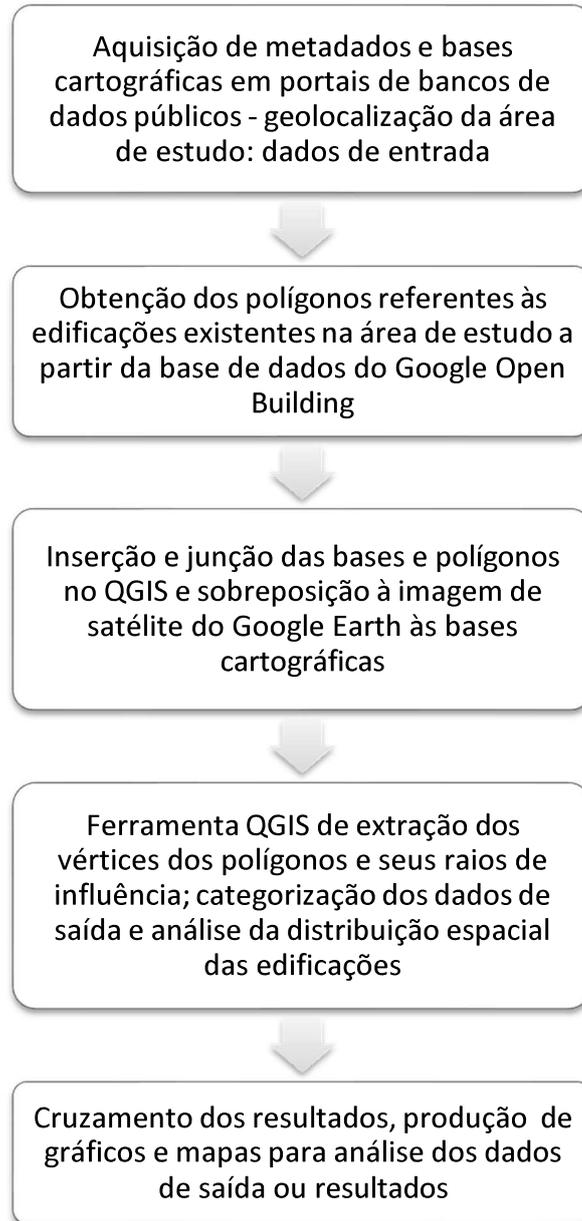


Figura 7 Fluxograma das etapas de trabalho realizadas para obtenção de dados de densidade habitacional da área de estudo. Elaborado pela Autora, 2024.

A Figura 8 a seguir apresenta imagens extraídas da tela do software QGIS representando cada uma das etapas e ferramentas utilizadas para inserção dos dados de entrada (bases cartográficas e coordenadas de edificações) para a obtenção dos dados de saída ou resultados (atributos das feições ou polígonos inseridos).

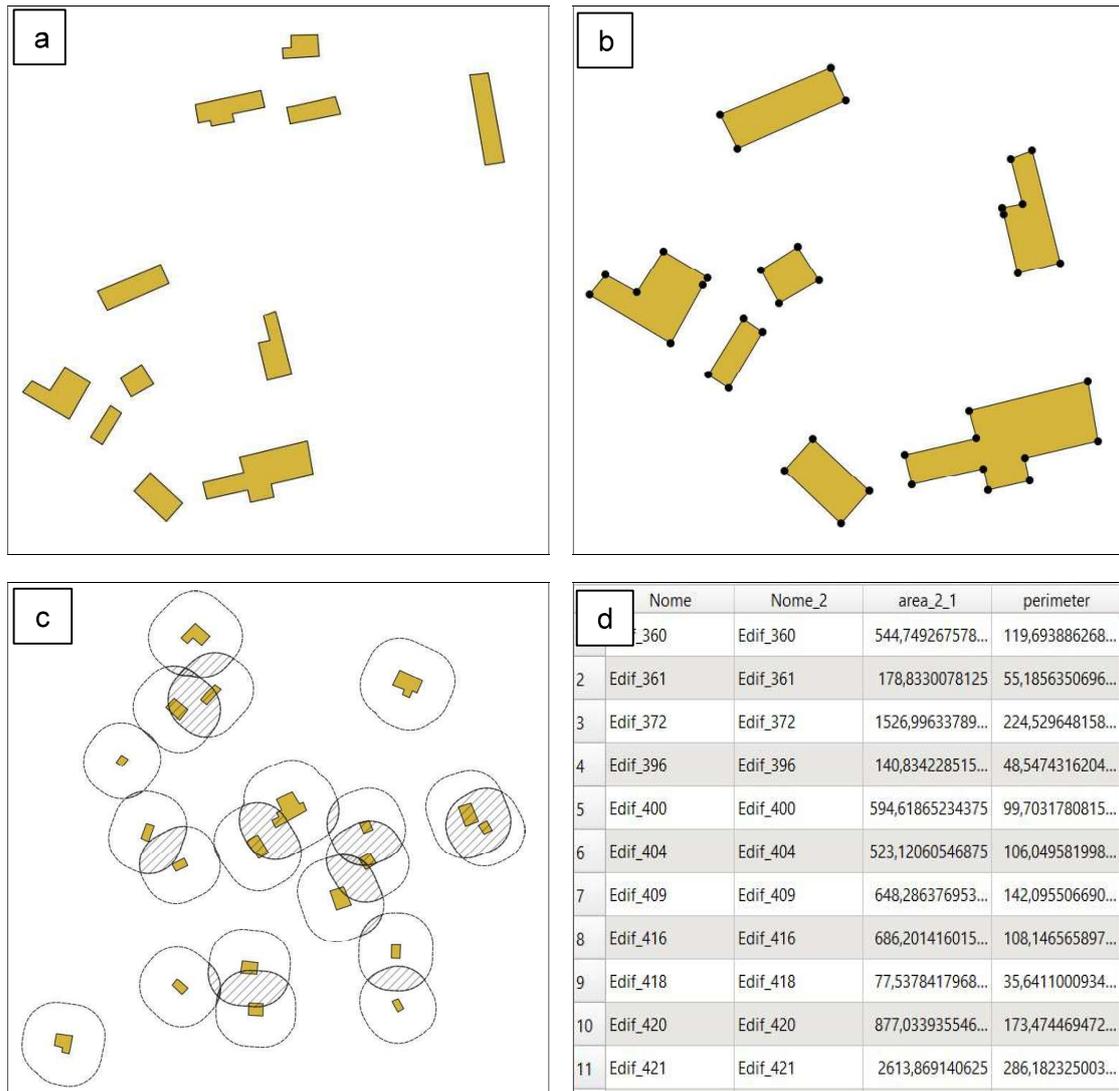


Figura 8 Etapas realizadas para obtenção dos dados de densidade habitacional da área de estudo a partir de base de dados do Google e do software QGIS:

- (a) obtenção das coordenadas geográficas dos polígonos referentes às edificações por meio da ferramenta *Google Open Buildings* e inserção destes no software QGIS;
- (b) utilização da ferramenta do QGIS 'extração dos vértices dos polígonos';
- (c) utilização da ferramenta '*Buffer*' no QGIS para criação de um raio de influência de 38 metros ao redor de cada polígono ou edificação;
- (d) tabela de atributos e categorização das informações extraídas dos dados originais. Elaborado pela Autora.

Conforme demonstrado nas Figuras 7 e 8, foram inseridos no ambiente de trabalho do software QGIS as coordenadas dos polígonos referentes às edificações existentes na APA de Campinas. Através de ferramentas de análise espacial do software, foram identificados os vértices dos polígonos e a partir daí, foram identificados os “raios de influência” ao redor de cada polígono, também chamados de buffer.

Foram estabelecidos raios de influência de 38 metros ao redor de cada polígono com o intuito de se obter duas categorias de edificações: aquelas distanciadas entre si a 76 metros ou menos; e as distanciadas entre si a mais de 76 metros.

Para auxiliar visualmente a categorização das edificações, foram inseridas hachuras nas intersecções entre os raios de influência dos diferentes polígonos. E a partir daí, utilizando-se recursos do software QGIS, foi extraída a tabela de atributos dos polígonos, também chamados de feições, o qual indicou a quantidade total de polígonos existentes e a quantidade de polígonos inseridos nas diferentes categorias estabelecidas.

Estes resultados permitiram a melhor compreensão da distribuição espacial e a densidade das habitações existentes na APA Campinas, e a partir das informações obtidas, foi possível delinear possíveis estratégias de planejamento do saneamento rural para o território, fundamentadas no critério proposto pelo estudo de Tonetti et al. (2021), já descrito anteriormente.

5. Resultados e Discussão

5.1. Panorama da situação da estrutura fundiária da área de estudo

O panorama da situação da estrutura fundiária atual na APA de Campinas foi obtido com base nos dados do Cadastro Ambiental Rural - CAR e na classificação de imóveis rurais estabelecido pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA, segundo os módulos fiscais.

Módulo fiscal é um dos Índices Básicos Cadastrais utilizados pelo INCRA para fixar por município parâmetros de caracterização e classificação do imóvel rural de acordo com a sua dimensão e disposição regional. Os atuais índices foram estabelecidos por meio da Instrução Especial nº 5 de 2022 (INCRA, 2022).

A Tabela 3 apresenta a classificação dos imóveis rurais por módulos fiscais, segundo o INCRA, 2022.

Classificação	Características
Minifúndio	Área inferior a 1 (um) módulo fiscal ou 10 hectares
Pequena propriedade	Área entre 1 (um) e 4 (quatro) módulos fiscais ou 10 a 40 hectares
Média propriedade	Área superior a 4 (quatro) e até 15 (quinze) módulos fiscais ou 40 a 150 hectares
Grande propriedade	Área superior a 15 (quinze) módulos fiscais ou 150 hectares

Tabela 3 Classificação de imóveis rurais por quantidade de módulos fiscais. Fonte: INCRA (2022).

A partir da consulta à base de *downloads* do Sistema Nacional de Cadastro Rural - SICAR, foram levantadas e classificadas todas as áreas rurais cadastradas na APA de Campinas, conforme apresentado na Tabela 4.

Classe	Quantidade de propriedades
Minifúndio	428
Pequena propriedade	99
Média propriedade	68
Grande propriedade	31
Total	626

Tabela 4 Propriedades rurais cadastradas no SICAR. Fonte: CAR (2023).

A Figura 9 a seguir apresenta o Mapa da Estrutura Fundiária da APA de Campinas, contendo as 626 propriedades cadastradas até o ano de 2023 no Sistema Nacional de Cadastro Rural (SICAR, 2023).

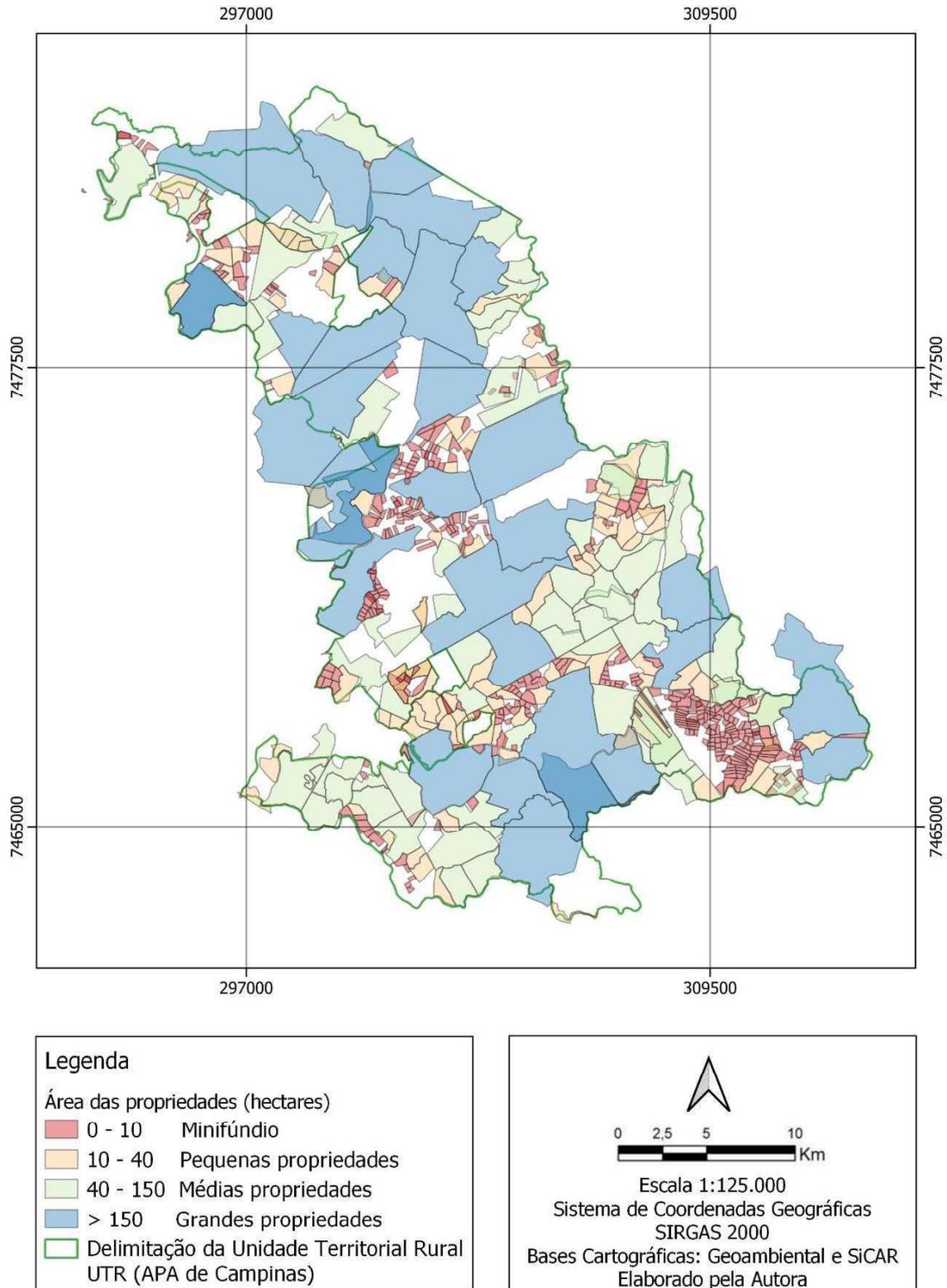


Figura 9 Mapa da estrutura fundiária da APA de Campinas. Elaborado pela Autora a partir de SVDS (2018) e dados do Sistema Nacional de Cadastro Rural (2023)

5.2. Polígonos referentes às edificações existentes na área de estudo a partir a base de dados Google Open Buildings

Para a extração dos polígonos referentes às edificações na área de estudo foi utilizado o portal *Google Open Buildings*, uma ferramenta que oferece um vasto conjunto de dados de edifícios, geradas a partir de imagens de satélite de alta resolução. Esta base de dados possui 1,8 bilhões de detecções de edifícios em uma área de 58 milhões de km² abrangendo regiões da América Latina e Caribe, incluindo edifícios pequenos, zonas rurais e desérticas (Domeneghini, 2023).

As coordenadas dos polígonos foram extraídas do portal *Open Buildings* em formato *.csv* (*comma-separated values*) e em seguida importados para o software QGIS e convertidos em uma camada vetorial com 2.193 feições distribuídas na APA de Campinas. As feições são extraídas como um conjunto de dados vetoriais que extraem o contorno das edificações de forma automatizada. A Figura 10 apresenta a tela de navegação do *Open Buildings* com um fragmento da área de estudo.



Figura 10 Tela de navegação do *Open Buildings* com as representações gráficas das feições extraídas em um fragmento da área de estudo.

A Figura 11 a seguir apresenta a área de trabalho do QGIS, para onde as feições do *Open Buildings* foram inseridas.

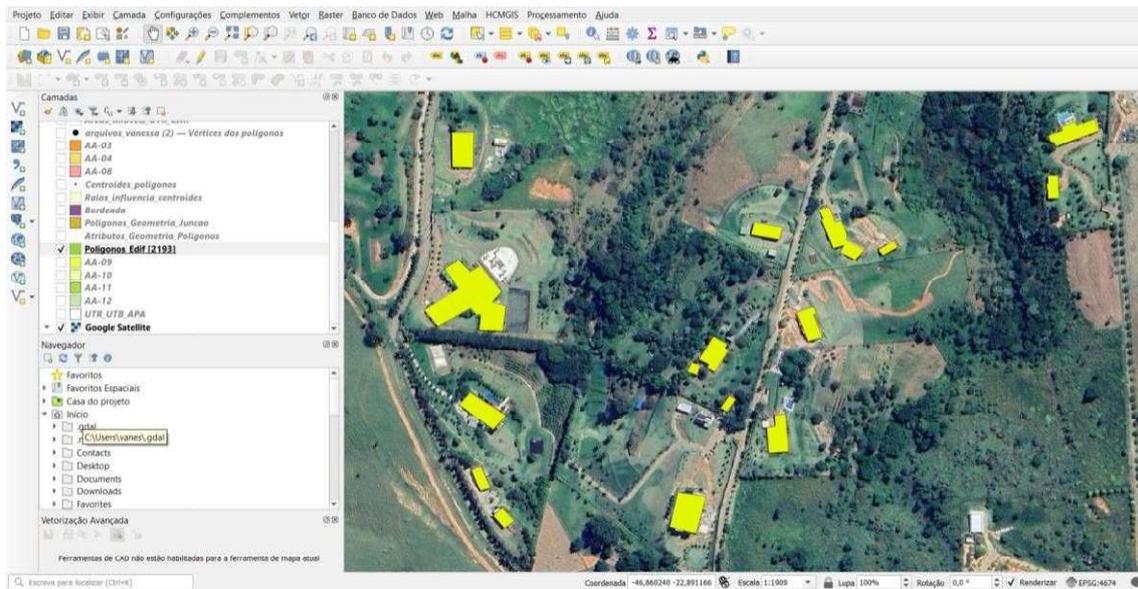


Figura 11 Área de trabalho do QGIS com um fragmento da área de estudo com as feições ou polígonos extraídos do *Open Buildings*

5.3. Análise da distribuição espacial das edificações

Após a etapa de inserção dos polígonos correspondentes às edificações na área de estudo, foram extraídos os vértices das edificações para a análise de sua distribuição espacial. Para isso, por meio de ferramentas do software QGIS, foi criada uma matriz de distância entre os vértices dos diferentes polígonos, bem como uma camada de raios de influência entre as edificações, considerando duas categorias de distâncias: igual ou inferior a 76 metros (não consideradas isoladas) e superior a 76 metros (consideradas isoladas). Dessa forma, foi possível realizar uma análise da distribuição espacial das edificações existentes na APA de Campinas, conforme apresentado na Tabela 5 a seguir.

Categorização das Edificações	Quantidade (unidades)	Percentual (%)
Distantes entre si a 76 metros ou mais	386	17,6
Distantes entre si a menos de 76 metros	1807	82,4

Tabela 5 Categorização das edificações quanto à sua distribuição espacial

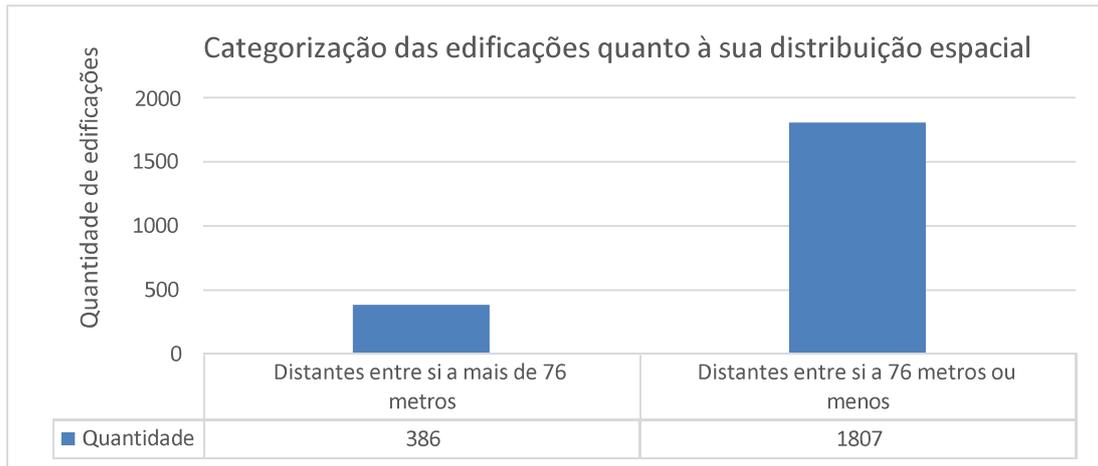


Figura 12 Categorização das edificações quanto à sua distribuição espacial

Analisando a parcela de edificações consideradas isoladas, ou seja, aquelas com distanciamento entre si superior a 76 metros, verifica-se que embora APA de Campinas apresente, de forma geral, uma baixa densidade habitacional característica de territórios rurais (cerca de 10 edificações por km²), a maioria das edificações ali existentes não é considerada isolada. Apenas 18% das edificações existentes se adequaria nas condições elegíveis a receber sistemas unifamiliares de tratamento de esgoto, enquanto 82% das edificações da APA estão inseridas em manchas de maior adensamento.

Este “adensamento” se dá, em grande medida, devido à presença de duas ou mais edificações na mesma propriedade, padrão que se repete na maior parte da APA, conforme foi observado ao se cruzar os dados da quantidade e geolocalização das edificações com os perímetros dos imóveis cadastrados no Sistema Nacional de Cadastro Rural até no ano de 2023, conforme será demonstrado mais detalhadamente no item 5.4.

Nos casos em que há diversas habitações em uma mesma propriedade, é preciso avaliar viabilidade de se implantar sistemas coletivos para atender a um grupo de edificações. É comum que em propriedades rurais existam mais de uma edificação, como a casa principal, residências de familiares ou trabalhadores, depósitos, estruturas de apoio à produção agrícola, etc.

Segundo Tonetti et al. (2023), outros aspectos além da distribuição espacial das habitações influenciam na escolha da gestão dos sistemas coletivos de tratamento. Alguns parâmetros de gestão do sistema coletivo devem ser

decididos na fase de planejamento, como: determinação do lote no qual o sistema será implantado; determinação da entidade ou pessoa responsável pela operação e manutenção do sistema; avaliação das condições topográficas da área de implantação; determinação do tipo de tecnologia a ser empregada, levando em conta seus custos, nível de tratamento e gestão do lodo. Outra questão importante a ser determinada nesta fase é o lançamento do efluente tratado. Segundo determinação do CONAMA 357 (BRASIL, 2005) o corpo hídrico receptor deve ter uma vazão suficiente para garantir sua depuração.

Além dos parâmetros mencionados acima, outro importante fator que pode influenciar na gestão dos sistemas coletivos são questões de conflitos entre vizinhos. A atuação em campo no contexto do saneamento rural nos mostra que desentendimentos interpessoais entre vizinhos e familiares não é algo raro, e pode comprometer não só a escolha do local de implantação, mas também a operação de sistemas coletivos de tratamento de esgoto nestas áreas.

Diante disso, no que tange à tomada de decisões para implantação e gestão de sistemas coletivos de tratamento, estas e outras questões devem ser cuidadosamente avaliadas, para além da densidade habitacional. Conforme resultados apresentados, dentre as 2.193 edificações existentes na área de estudo, apenas uma parcela de 18% destas se adequaria às condições elegíveis a receber sistemas unifamiliares de tratamento de esgoto. A parcela restante, de 82% das edificações, não necessariamente se enquadra na categoria das edificações elegíveis a receber sistemas coletivos de tratamento de esgoto, sendo necessário, portanto, uma avaliação mais apurada dos outros aspectos que influenciam a tomada de decisão.

Ainda no contexto da análise da distribuição espacial das edificações da APA de Campinas, o uso da ferramenta *buffer* do software QGIS permitiu a geração de um raio de influência de 38 metros ao redor de cada polígono correspondente às edificações. Essa representação permitiu uma análise visual das regiões com maior ou menor densidade habitacional dentro da área de estudo, conforme fragmento da área de estudo demonstrado na Figura 13 a seguir.

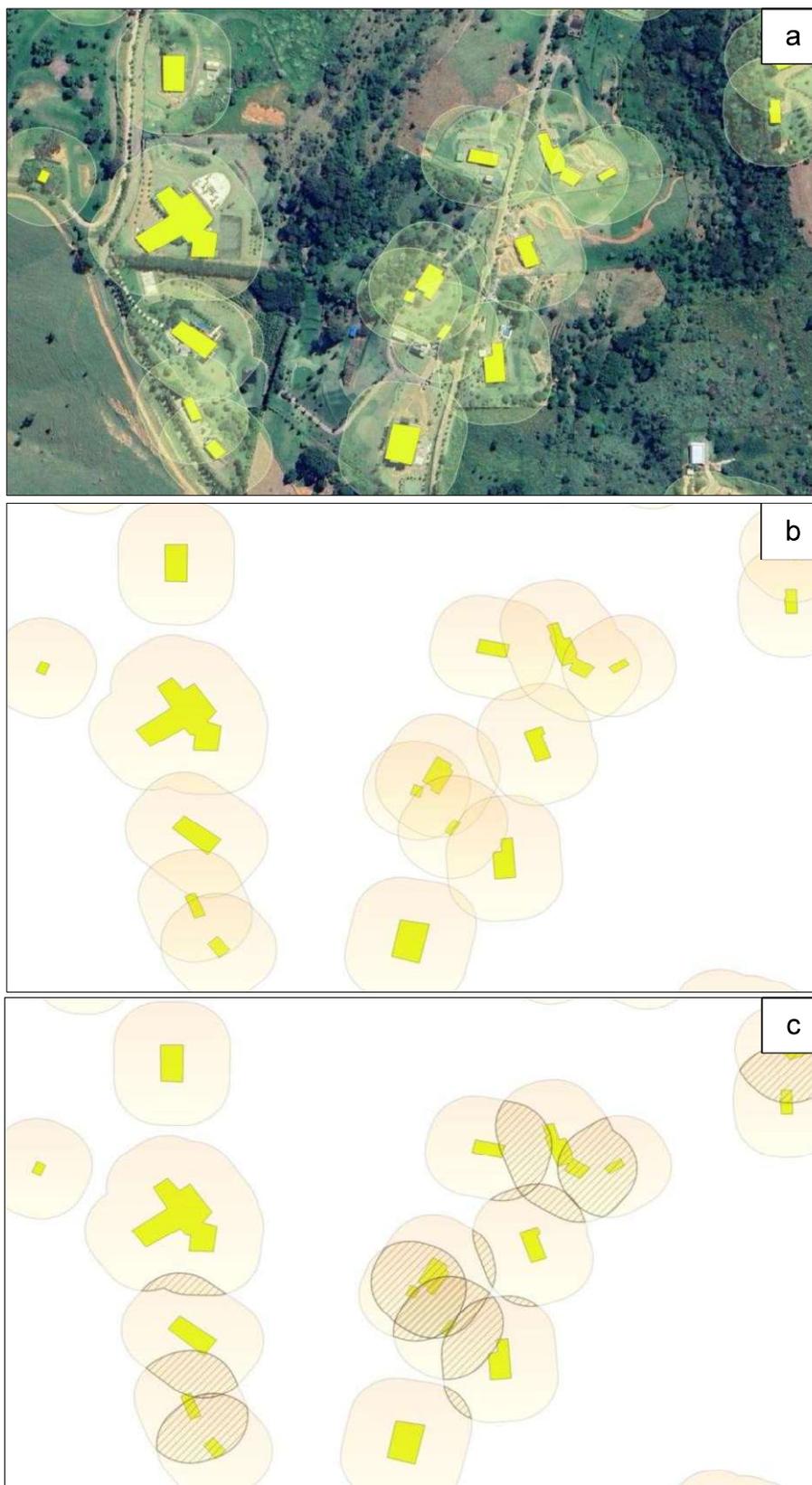


Figura 13 Vista dos *buffers* ou raios de influência ao redor das edificações em fragmento da área de estudo. (a) polígonos sobrepostos à imagem de satélite; (b) *buffer* ou raio de influência ao redor dos polígonos; (c) destaque da intersecção entre os raios de influência. Elaborado pela autora.

As 2.193 edificações identificadas inserem-se na Unidade Territorial Rural (UTR) APA de Campinas, a qual ocupa uma área total de 217,9 km² excluindo-se as Unidades Territoriais Rurais Básicas (UTBs), conforme mapa e quadro de áreas apresentados na Figura 4 e Tabela 1 (item 4 do presente estudo). Esse dado indica que a densidade habitacional da APA é de cerca de 10 edificações por quilômetro quadrado (10 edif./km²), ou seja, de forma genérica verifica-se uma baixa densidade habitacional característica de territórios rurais.

Conforme já mencionado, o Panorama do Censo 2022 (IBGE, 2022) apresenta aspectos de densidade populacional dos distritos de Sousas e Joaquim Egídio, indicando que a média de moradores por domicílio nessas localidades é de 2,80 e 2,70, respectivamente. Esses dois distritos juntos ocupam aproximadamente 70% da área total da APA de Campinas.

Se extrapolássemos essa média aproximada de 2,80 moradores por domicílio em toda a APA, teríamos uma população total atualmente de cerca de 6.140 habitantes, com uma densidade habitacional de 28,18 hab./km². A Tabela 6 compara os dados de densidade demográfica obtidos do Censo de 2010 (IBGE, 2010) e os dados obtidos do presente estudo, baseados no Censo de 2022 (IBGE, 2022).

Ano	População (hab.)	Domicílios	Média de moradores por domicílio	Densidade demográfica (hab./km ²)
2010 ^(a)	3.712	925	-	17
2022 ^(b)	6.140	2193	2,80	28

Tabela 6 Dados da densidade populacional da APA de Campinas. Fonte: (a) IBGE, 2010; (b) estimativa obtida pela extrapolação de dados de IBGE, 2022

Embora de forma geral a área total da APA tenha uma densidade habitacional baixa, o que é característico de territórios rurais, observando-se os fragmentos de imagens de polígonos apresentados, é possível perceber que as edificações existentes não são distribuídas de maneira uniforme no território, havendo alguns aglomerados de edificações em determinadas regiões, enquanto outras encontram-se desocupadas. De acordo com o Plano de Manejo da APA de Campinas (Campinas, 2018), apenas 8,1% do território da APA de Campinas é destinado ao uso urbano, sendo que a maior parte do território é ocupada por

cobertura vegetal, conforme demonstrado na Tabela 7.

Classes de vegetação e Principais Usos	Área (ha)	Área (%)
Afloramento rochoso	1,2	< 1
Agrupamento arbóreo / bosque	821,6	3,7
Campo antrópico	11.401,5	51,2
Campos de várzea	315,5	1,4
Corpo d'água	330,2	1,5
Cultura	375,0	1,7
Floresta estacional semidecidual	2.701,1	12,2
Eucalipto com regeneração de sub-bosque	2.002,9	9,0
Reflorestamento	1.778,6	8,0
Solo exposto	296,4	1,3
Uso urbano	1.795,6	8,1
Vegetação pioneira	441,9	2,0
Total	22.270,4 ^(a)	100,0

Tabela 7 Classes de cobertura vegetal e principais usos do solo mapeados para a APA de Campinas. ^(a)Nota: as áreas demonstradas nesta tabela correspondem não só à UTR, mas também às UTBs. Fonte: Plano de Manejo da APA de Campinas (Campinas, 2018).

Portanto, embora a APA de Campinas apresente uma baixa densidade habitacional, conforme foi observado, a maioria das edificações ali existentes encontra-se separada por uma distância igual ou inferior a 76 metros entre si, apresentando características de edificações agrupadas e não isoladas, se enquadrando, portanto, nas condições elegíveis a receberem sistemas coletivos de tratamento de esgoto.

5.4. Cruzamento dos resultados obtidos com dados da estrutura fundiária da área de estudo

Conforme já discutido, as áreas rurais tendem a apresentar uma densidade habitacional baixa, caracterizada por ocupações dispersas e bastante espaçadas entre si. No entanto, é comum que propriedades rurais contem com mais de uma edificação, como a casa principal, residências de familiares ou trabalhadores, depósitos, estruturas de apoio à produção agrícola, etc. Esse padrão não necessariamente configura um aglomerado rural, já que essas edificações pertencem a uma mesma propriedade.

Como o território rural em estudo apresentou a característica de possuir a maioria das edificações separadas entre si por uma distância igual ou inferior a 76 metros, buscou-se relacionar a distribuição espacial das edificações com a estrutura fundiária da área de estudo.

Para isso, recorreu-se ao mapa de propriedades rurais cadastradas no Sistema Nacional de Cadastro Rural (SICAR, 2023), já apresentado na Figura 9, o qual foi sobreposto ao mapa de polígonos correspondentes às edificações na área de estudo. A sobreposição dos perímetros das propriedades rurais cadastradas no SICAR ao mapa de polígonos gerou o mapa apresentado na Figura 13. A análise deste mapa confirma a premissa de que nas propriedades rurais da área de estudo é comum haver mais de uma edificação por propriedade.

A Tabela 8, apresentada a seguir, quantifica a parcela de propriedades cadastradas no Cadastro Rural que possuem mais de cinco edificações.

Classificação das propriedades rurais	Área (ha)	Quantidade de propriedades cadastradas	Percentual de propriedades com 5 ou mais edificações
Minifúndios	0 a 10	428	5%
Pequenas propriedades	10 a 40	99	43%
Médias propriedades	40 a 150	68	79%
Grandes propriedades	> 150	31	64,5%

Tabela 8 Percentual de propriedades com mais de 5 edificações nos imóveis rurais cadastrados no CAR. Fonte: Elaborado pela Autora a partir de INCRA (2022) e SICAR (2023)

Analisando-se os dados apresentados na Tabela 8, é possível concluir que os grupos de maior adensamento habitacional se inserem principalmente nas médias e grandes propriedades existentes na APA de Campinas.

A Figura 14 a seguir apresenta um mapa no qual os polígonos referentes às edificações foram sobrepostos ao mapa de propriedades rurais cadastradas no Sistema Nacional de Cadastro Rural até no ano de 2023.

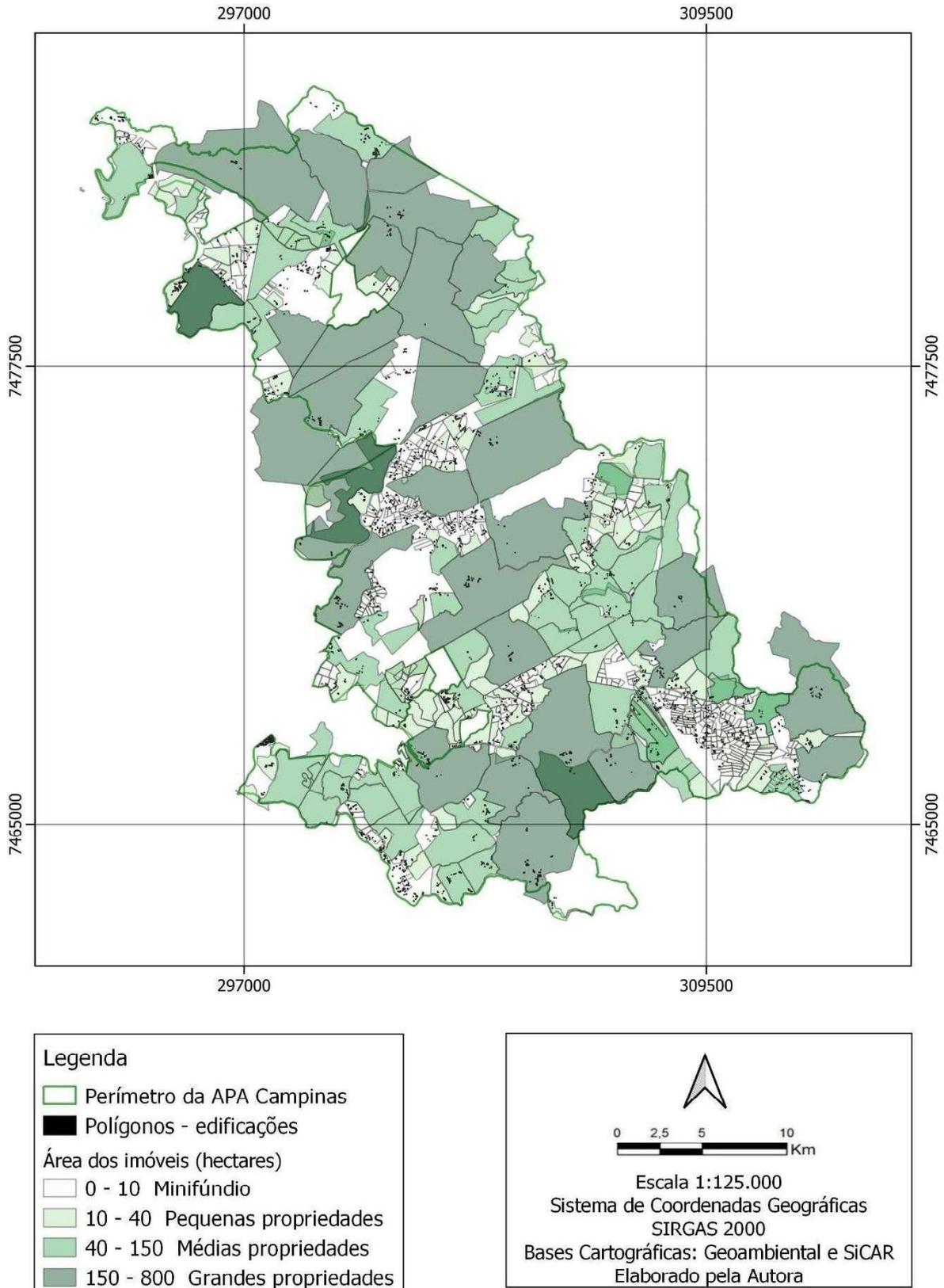


Figura 14 Mapa da estrutura fundiária da APA de Campinas sobreposto ao mapa de polígonos referentes às edificações

A Figura 15 apresenta um fragmento do mapa da estrutura fundiária da APA sobreposto ao mapa de polígonos referentes às edificações. Nesta imagem é possível visualizar manchas de adensamento habitacional inseridas em grandes e médias propriedades e minifúndios contendo uma e duas propriedades.

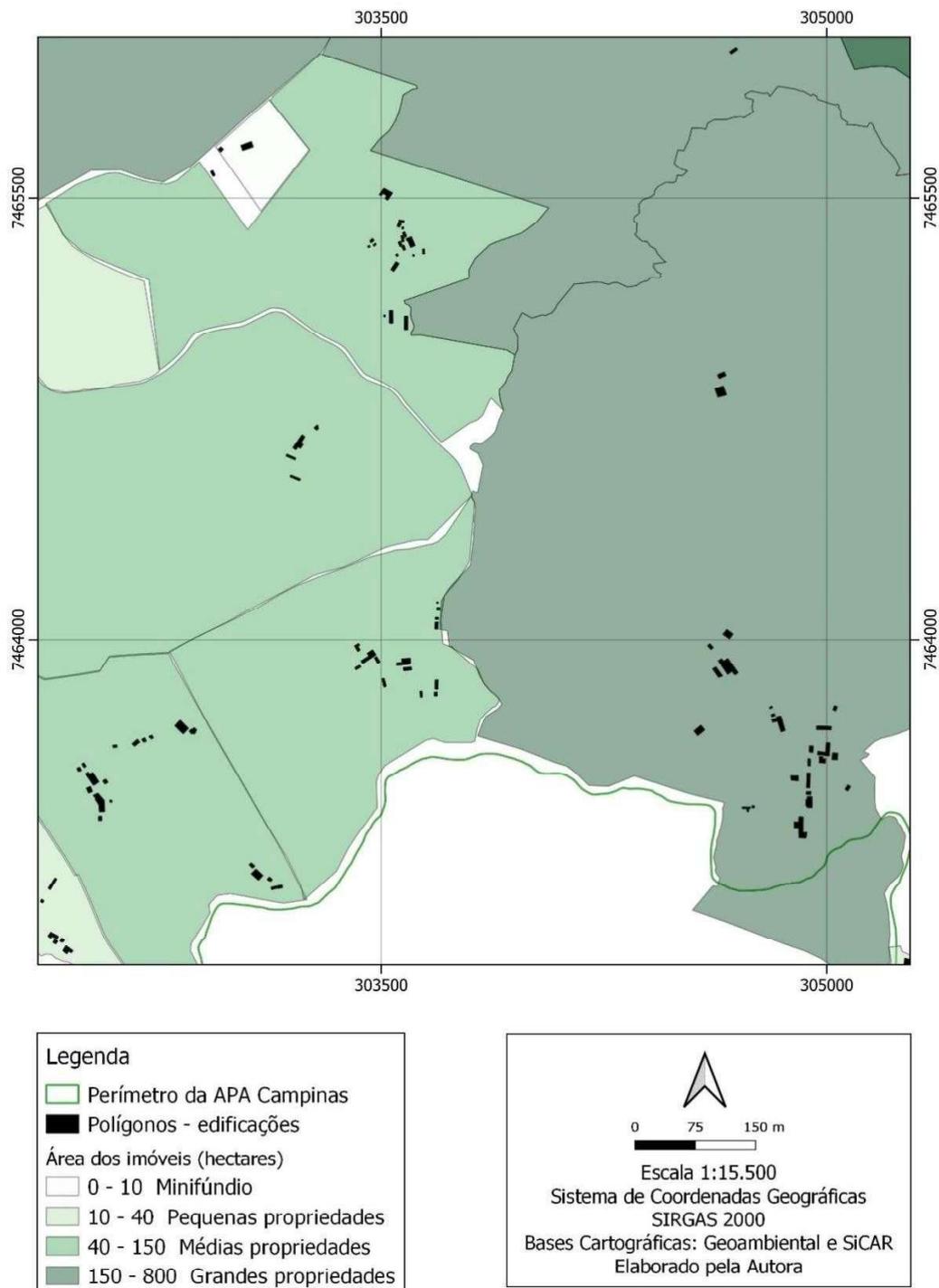


Figura 15 Fragmento do mapa da estrutura fundiária da APA de Campinas sobreposto ao mapa de polígonos referentes às edificações

Diante dos resultados obtidos, e conforme já exposto, observa-se que os grupos de maior adensamento habitacional se inserem principalmente nas médias propriedades, ou seja, aquelas com área superior a quatro e até quinze módulos fiscais, e nas grandes propriedades, que são aquelas com área superior a quinze módulos fiscais, de acordo com a classificação de INCRA, 2022. Conforme estabelecido pela Unidade Municipal de Cadastro do INCRA, cada módulo rural em Campinas equivale a 10 hectares ou 100 mil m².

Conforme dados já apresentados, a recente legislação sobre parcelamento, ocupação e uso do solo nas áreas rurais e urbanas da APA de Campinas (CAMPINAS, 2020a) permite a construção de até quatro habitações unifamiliares por módulo fiscal, além de restringir a implantação de novas construções, permitindo a construção de uma habitação por módulo excedente. Este dispositivo delinea uma densidade habitacional máxima (DHM), seguindo as diretrizes do Plano de Manejo da APA Campinas.

Entretanto, o Plano de Manejo da APA Campinas é recente, tendo sido aprovado no ano de 2018; enquanto a legislação que abrange as questões sobre o parcelamento e uso do solo na APA foi aprovada no ano de 2020. Assim, a restrição de construção de quatro unidades habitacionais por módulo só vale para as novas construções a partir de dezembro de 2020.

De acordo com a legislação de uso e ocupação do solo na APA Campinas para as novas edificações a partir de dezembro de 2020, e considerando uma média de quatro habitantes por domicílio, teríamos uma densidade habitacional de 102 hab./km². Para efeito de comparação com a situação atual da área, a densidade demográfica do Distrito Sousas, na APA Campinas, de acordo com dados do Censo 2022 (IBGE, 2022), é de 265,01 hab./km².

A Figura 13 apresenta, dentre os resultados obtidos do presente estudo, uma mancha de adensamento habitacional inserida em uma grande propriedade com 23 edificações em uma área de 0,252 km². Admitindo-se a média de moradores por domicílio de 2,80, conforme determinado pelo Censo 2022, teríamos uma densidade habitacional de 255 hab./km², ou seja, muito próxima daquela obtida a partir dos dados do IBGE, 2022.

Diante dos resultados obtidos, observa-se que o planejamento do tipo de sistema de tratamento de esgoto a ser implantado na APA Campinas não deve se limitar à distribuição espacial das propriedades no território de forma geral, mas também devem ser observados aspectos da situação fundiária do território, como a área das propriedades rurais, o número de edificações em uma mesma propriedade, o uso destas edificações e a proximidade destas entre si. Tais variáveis devem subsidiar a avaliação da viabilidade da instalação de um sistema coletivo para atender diversas edificações dentro de uma mesma propriedade ou condomínio, por exemplo, ou a instalação de sistemas individualizados para cada propriedade.

Assim, a parcela de 18% das edificações existentes na APA de Campinas que se adequaria às condições elegíveis a receber sistemas unifamiliares de tratamento de esgoto, caracteriza um dado com potencial de auxiliar no planejamento e tomada de decisões na elaboração de planos e projetos de sistemas unifamiliares de tratamento na área, oferecendo ferramentas na determinação de parâmetros como estimativa de custos de obra, prazo para implantação dos sistemas, aspectos logísticos entre outros fatores.

5.5. Conclusões

Embora a Área de Proteção Ambiental (APA) de Campinas apresente, de forma geral, uma baixa densidade habitacional característica de territórios rurais (cerca de 10 edificações por km²), o presente estudo constatou que a maioria das edificações ali existentes se encontra em manchas de adensamento, em sua maioria inseridas em grandes e médias propriedades rurais, separadas por uma distância igual ou inferior a 76 metros entre si. Esta classificação de distâncias entre as edificações norteou o presente trabalho, baseando-se no estudo de Tonetti et al. (2021), que apontou que em áreas rurais com habitações espaçadas entre si a uma distância superior a 76 metros, sistemas unifamiliares de tratamento de esgoto são mais viáveis em relação aos sistemas coletivos.

Conforme demonstrado, as manchas de adensamento existentes se dão, em grande medida, devido à presença de diversas edificações em uma mesma propriedade, padrão que se repete na maior parte da APA, conforme foi observado ao se cruzar os dados da quantidade e geolocalização das edificações com os perímetros dos imóveis cadastrados no Sistema Nacional de Cadastro Rural até no ano de 2023.

Desta forma, foi possível concluir que seguramente, apenas 18% das edificações existentes na APA de Campinas se adequaria nas condições elegíveis a receber sistemas unifamiliares de tratamento de esgoto. Esta informação pode auxiliar no planejamento de planos e projetos de sistemas unifamiliares de tratamento na área, oferecendo subsídios para a determinação de parâmetros como estimativa de custos de obra, prazo para implantação dos sistemas, aspectos logísticos entre outros fatores fundamentais na tomada de decisão por parte da prefeitura municipal e concessionárias.

A metodologia aplicada para determinação da densidade habitacional na APA de Campinas trouxe resultados mais complexos do que a simples distribuição espacial das edificações no território como um todo. As características fundiárias, de densidade habitacional e as questões de uso e parcelamento do solo na área de estudo nos levaram a concluir que é preciso dedicar um olhar atento para as peculiaridades e fatores legais das áreas rurais em diferentes regiões e

municípios brasileiros, sem a pretensão de impor soluções genéricas para esse tipo de território.

A metodologia utilizada neste trabalho empregou uso de softwares e ferramentas computacionais de análise espacial que permitiram o manuseio e interpretação de um grande volume de dados com precisão e agilidade. Os dados brutos obtidos a partir da análise espacial foram organizados, categorizados e interpolados, de forma a identificar padrões relevantes para o planejamento estratégico de intervenções na área de estudo. O uso dessas ferramentas é amplamente aplicável a estudos em outros territórios, podendo abranger tanto o Estado de São Paulo quanto outras regiões do país. Sua aplicação permite, de forma automatizada, fornecer subsídios para a elaboração de políticas públicas, diagnósticos, planos municipais, programas e projetos voltados ao saneamento rural nos mais diversos territórios rurais brasileiros.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 60p, 1997.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17076: Projeto de sistema de tratamento de esgoto de menor porte - Requisitos.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 102p, 2024.

AGÊNCIA BRASIL. **Relatório mostra desigualdades regionais no acesso a saneamento.** Matéria publicada em 21/02/2024. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2024-02/relatorio-mostra-desigualdades-regionais-no-acesso-saneamento> Acesso em novembro/2024.

ALMEIDA, D. S.; PIRES, T.; TOTTI, V. **Racismo Ambiental e a distribuição racialmente desigual dos danos ambientais no Brasil.** Relatório PIBIC, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: http://www.puc-rio.br/pibic/relatorio_resumo2015/relatorios_pdf/ccs/DIR/DIR-Daniela_Almeida.pdf Acesso em novembro/2024

ANDRÉS, L.; JOSEPH, G.; RANA, S. ***The economic and health impacts of inadequate sanitation.*** Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/acrefore/9780199389414.013.561> Acesso em abril/2023.

BELLETTINI, B.; GARCÍA-MARÍN, A. P. ***Economic damage-cost analysis caused by insufficient sanitation in rural Ecuador.*** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental v. 27 (40). Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220210073> Acesso em maio/2023.

BIEKER, S.; CORNEL, P.; WAGNER, M. ***Semicentralised supply and treatment systems: integrated infrastructure solutions for fast growing urban areas.*** *Water Science & Technology*, v. 61, n. 11, p. 2905-2913. Darmstadt-DEU, 2010. Disponível em: <http://iwaponline.com/wst/article-pdf/61/11/2905/445991/2905.pdf> Acesso em março/2023.

BISPO, C. L. S.; MENDES, E. P. P. **Rural / Urbano e Campo / Cidade: Características e diferenciações em debate**. XXI Encontro Nacional de Geografia Agrária “Territórios em Disputa: os desafios da geografia agrária nas contradições do desenvolvimento brasileiro”. Uberlândia-MG. 15 a 19 de outubro de 2012. Disponível em: http://www.lagea.ig.ufu.br/xx1enga/anais_enga_2012/eixos/1032_1.pdf Acesso em agosto/2022.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Programa Nacional de Saneamento Rural: Análise Situacional do Saneamento Rural no Brasil** / Fundação Nacional de Saúde. – 1. ed. – Brasília : Funasa, 2021. 103 p. : il. – (Série Subsídios ao Programa Nacional de Saneamento Rural ; v. 2)

BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Programa Nacional de Saneamento Rural** / Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde. – Brasília : Funasa, 2019. 260 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. **Portaria nº 3.174**, de 2 de dezembro de 2019. Brasília, 2019.

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. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm Acesso em novembro/2024.

BRASIL. **Lei nº 14.026**, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados.. Disponível em:

https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm

Acesso em novembro/2024.

CALGARO, H. F.; FILHO, J. B. **Esgoto doméstico no meio rural: tratamento e implicações para a saúde humana**. Campinas, CDRS, 2020. 52 p. (Boletim Técnico 253 nº 253).

CAMPINAS, 2001. **Lei nº 10.850**, de 7 de junho de 2001. Cria a Área de Proteção Ambiental - APA - do Município de Campinas, regulamenta o uso e ocupação do solo e o exercício de atividades pelo setor público e privado. Disponível em:

<https://bibliotecajuridica.campinas.sp.gov.br/index/visualizaratualizada/id/89938>

Acesso em novembro/2024.

CAMPINAS, 2006. **Plano Diretor 2006 Prefeitura Municipal de Campinas**. Macrozoneamento: objetivos e funções. Disponível em:

<https://saude.campinas.sp.gov.br/seplan/publicacoes/planodiretor2006/pdfinal/cap7.pdf> Acesso em março/2023.

CAMPINAS, 2018. **Plano de Manejo da APA de Campinas**. Tomos I, II, III, IV, V, VI e VII. Secretaria do Verde e Meio Ambiente. Campinas, 2018. Disponível em:

<https://portal-api.campinas.sp.gov.br/sites/default/files/publicacoes-dom/suplementos/suplemento2019-05-20cod5201.pdf> Acesso em

novembro/2024.

CAMPINAS, 2020a. **Lei Complementar nº 295**, de 3 de dezembro de 2020. Dispõe sobre parcelamento, ocupação e uso do solo nas áreas rurais e urbanas da Área de Proteção Ambiental de Campinas. Disponível em:

<https://habicamp.com.br/lei-complementar-no-295/> Acesso em novembro/2024.

CAMPINAS, 2020. **Lei Complementar nº 296**, de 4 de dezembro de 2020. Altera dispositivos da Lei nº 10.850, de 7 de junho de 2001, que "cria a Área de Proteção Ambiental - APA - do Município de Campinas, regulamenta o uso e ocupação do solo e o exercício de atividades pelo setor público e privado", e dá outras providências. Disponível em: <https://bibliotecajuridica.campinas.sp.gov.br/index/visualizaratualizada/id/13649> Acesso em novembro/2024.

CELLA, D.; QUEDA, O. FERRANTE, V. L. S. B. **A definição do espaço rural como local para o desenvolvimento territorial**. Revista *Retratos de Assentamentos*, v. 22, n. 1, 2018. DOI: 10.25059/2527-2594/retratosdeassentamentos/%Y.v%vi%i.333. Disponível em: <https://link.gale.com/apps/doc/A678606561/IFME?u=anon~986b591d&sid=googleScholar&xid=d684ec6a> Acesso em novembro/2024.

CIRNE, M. B.; SOUSA, M. S. O. **Racismo ambiental no Brasil: Um olhar sobre o acesso desigual ao saneamento básico através dos dados do censo de 2022**. Revista de Direito Agrário e Agroambiental, Florianópolis, Brasil, v. 10, n. 1, 2024. DOI: 10.26668/IndexLawJournals/2526-0081/2024.v10i1.10429. Disponível em: <https://www.indexlaw.org/index.php/rdaa/article/view/10429> Acesso em: novembro/2024.

DOMENEGHINI, J. **Você conhece o Google Open Buildings?** Grupo de Pesquisa DES - Dinâmica Espacial e Sociedade. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Artigo publicado em 25 de setembro 2023. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/gdes/2023/09/25/voce-conhece-o-google-open-buildings/#:~:text=O%20Google%20Open%20Buildings%20%C3%A9,de%20sat%C3%A9lite%20de%20alta%20resolu%C3%A7%C3%A3o> Acesso em: outubro/2024.

EDOKPAYI, J. N.; ODIYO, J. O.; DUROWOJU, O. S. **Impact of wastewater on surface water quality in developing countries: a case study of South Africa**. In: TUTU, H. Water Quality. Johannesburgo: InTech, 2017. p. 401-4016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5772/66561> Acesso em abril/2023.

FERRETE, J. A.; BORGES, E.A.; ROSOLEN, V.S. & LEMOS, J.C. **Risco de contaminação ambiental por esgotos domésticos e resíduos sólidos em lotes do assentamento de reforma agrária Ezequias dos Reis, município de Araguari (MG)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24, 2007, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte, 2007.

FIGUEIREDO, I. C. S.; DUARTE, N. C.; COASACA, R. L.; MAGALHÃES, T. M.; BARBOSA, A. C.; PORTELA, D. G.; MADRID, F. J. P. L.; CRUZ, L. M. O.; TONETTI, A. L. **Águas cinzas em domicílios rurais: separação na fonte, tratamento e caracterização.** REVISTA DAE., v.67, p.141 - 156, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/dae.2019.061> Acesso em março/2023.

FIGUEIREDO, I. C. S.; MIYAZAKI, C. K.; MADRID, F. J. P. L.; DUARTE, N. C.; MAGALHÃES, T. M.; TONETTI, A. L. **Fossa absorvente ou rudimentar aplicada ao saneamento rural: solução adequada ou alternativa precária?** REVISTA DAE., v.67, p.87 - 99, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/dae.2019.057> Acesso em março/2023.

GAVRAS, D. **PPPs de saneamento devem bater recorde em 2022, dois anos após novo marco legal.** Jornal Folha de São Paulo, São Paulo, 12. ago. 2022. Disponível em: <https://www1.folha.uol.com.br/mercado/2022/08/ppps-de-saneamento-devem-bater-recorde-em-2022-dois-anos-apos-novo-marco-legal.shtml> Acesso em fevereiro/2023.

HONG, S. W., CHOI, Y.-S., KIM, S.J., KWON, G. **Pilot-testing an alternative on-site wastewater treatment system for small communities and its automatic control.** Water Science and Technology. 2005. DOI: 10.2166/wst.2005.0356

HUANG, Y.; WU, L.; LI, P.; LI, N.; HE, Y. **Whats's the cost-effective pattern for rural wastewater treatment?** Journal of Environmental Management., v.303 (2022), 114226. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114226> Acesso em março/2023.

IAS - INSTITUTO ÁGUA E SANEAMENTO. **O saneamento básico no Brasil rural: reflexões para alcançar a universalização.** Artigo publicado em 06 de junho de 2022. Disponível em: <https://www.aguaesaneamento.org.br/o-saneamento-basico-no-brasil-rural-reflexoes-para-alcancar-a-universalizacao/> Acesso em fevereiro/2023.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Brasileiro de 2010.** Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Panorama do Censo 2022.** Disponível em: <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/> Acesso em novembro/2024.

INCRA - INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA. **Instrução Especial nº 5**, de 29 de julho de 2022. Dispõe sobre os índices básicos e cadastrais e os parâmetros para cálculo do módulo rural. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/instrucao-especial-n-5-de-29-de-julho-de-2022-418986404> Acesso em maio/2023.

INSTITUTO CIDADES SUSTENTÁVES. **Zoneamento Ambiental e Zoneamento Ecológico Econômico**. Cidades Sustentáveis. Disponível em https://www.cidadessustentaveis.org.br/institucional/planejamento-integrado_zoneamento-ambiental Acesso em novembro/2024.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Avanços no novo marco legal do saneamento básico no Brasil – 2024** (SNIS 2022). Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/avancos-do-novo-marco-legal-do-saneamento-basico-no-brasil-2024-snis-2022/> Acesso em novembro/2024.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **O gigante invisível: território e população rural para além das convenções oficiais**. Texto para discussão / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília: Rio de Janeiro: Ipea, 2014. Disponível em: http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/2866/1/TD_1942.pdf Acesso em agosto/2022.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Gestão comunitária da água: soluções e dificuldades do saneamento rural no Brasil**. Texto para discussão / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília : Rio de Janeiro: Ipea, 2020. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/10287/1/td_2601.pdf Acesso em fevereiro/2023.

IPEA - INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Saneamento rural no Brasil: A universalização é possível?** Texto para discussão / Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. Brasília : Rio de Janeiro: Ipea, 2023. Disponível em: https://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/11979/1/TD_2875_web.pdf Acesso em maio/2023.

KATO, M. T.; LAPOLLI, F. R.; SOUSA, J. T.; NOLASCO, M. A.; GONÇALVES, R. F.; LEITE, V. D. **Oportunidades e desafios na implementação de estações de tratamento de esgoto descentralizadas**. In: Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais / André Bezerra dos Santos; organizador. p. 23-47. Fortaleza: Imprece, 2019. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/06_11_2019_Prosab_Tratamento_de_Esgoto.pdf. Acesso em fevereiro/2023.

KUWAJIMA, J. I.; SANTOS, G. R.; FECHINE, V. M. R.; SANTANA, A. S. S. **Indicadores agregados e metodologia para identificar “quem está ficando para trás”**: o caso do saneamento no Brasil. IX Congreso de la Asociación Latinoamericana de Poblacion (ALAP). Evento on line. 9 a 11 de dezembro de 2020. Disponível em: <https://congresosalap.com/alap2020/resumos/0001/PPT-eposter-trab-aceito-0161-1.PDF> Acesso em agosto/2022.

MAGALHÃES FILHO, F. J. C.; QUEIROZ, A. A. F. S. L.; MACHADO, B. S. **Sustainable sanitation management tool for decision making in isolated areas in Brazil**. International Journal of Environmental Research and Public Health., v. 16(7), p.1118 -, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph16071118>

MANUAL da base territorial 2014. Rio de Janeiro: IBGE, 2014. 157 p.

MASSOUD, M. A.; TARHINI, A.; NASR, J. A. **Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing countries**. *Journal of Environmental Management*. Vol. 90, pp. 652–659. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.001>. Acesso em março/2023.

OLIVEIRA JÚNIOR, J. L. **Tratamento descentralizado de águas Residuárias domésticas: uma estratégia de inclusão social**. In: LIRA, W. S. e CÂNDIDO, G.A., orgs. Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa [online]. Campina Grande: EDUEPB, 2013, p. 213-232. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/333770377_Tratamento_descentralizado_de_aguas_residuarias_domesticas_uma_estrategia_de_inclusao_social. Acesso em agosto/2022.

OMS/UNICEF. **Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000-2020: five Years into the SDGs**. United Nations Children’s Fund (UNICEF) and World Health Organization (WHO), 2021.

OMS/UNICEF. *Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000–2022: special focus on gender*. United Nations Children’s Fund (UNICEF) and World Health Organization (WHO), 2023.

ONDAS - OBSERVATÓRIO NACIONAL DO DIREITO À ÁGUA E AO SANEAMENTO. **Olhares sobre a realização dos direitos humanos à água e ao saneamento** [recurso eletrônico] / organização Léo Heller, Marcos Helano Fernandes Montenegro, Ricardo de Sousa Moretti. - 1. ed. - Rio de Janeiro : Letra Capital, 2021. Recurso digital ; 10 MB

QUEIROZ, L. M.; FERREIRA, I. V. L.; SOUSA, J. T.; OLIVEIRA-ESQUERRE, K. P.; BARBOZA, M. G.; MENDONÇA, N. M. **Aspectos quantitativos de correntes de esgotos segregados e não segregados**. In: Caracterização, Tratamento e Gerenciamento de Subprodutos de Correntes de Esgotos Segregadas e Não Segregadas em Empreendimentos Habitacionais / André Bezerra dos Santos; organizador. p. 48-117. Fortaleza: Imprece, 2019. Disponível em: http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/06_11_2019_ProSab_Tratamento_de_Esgoto.pdf Acesso em fevereiro/2023

RADIN, M; WONG, B.; McMANUS, C.; SHINA, S.; JEULAND, M.; LARBI, E.; TUFFUOR, B.; BISCOFF, N. K.; WHITTINGTON, D. **Benefits and costs of rural sanitation interventions in Ghana**. *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*, v. 10 (4), p. 724-743, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.2166/washdev.2020.066> Acesso em maio/2023.

REZENDE, S.; ROLAND, N.; TRIBST, C. C.; SENNA, D. A.; SANTOS, M. R. R. **A ruralidade como condicionante da adoção de soluções de saneamento básico**. *REVISTA DAE*, v. 67, p. 15-35, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/dae.2019.053>. Acesso no dia 28/03/2023.

REZENDE, S. Os desafios do déficit nas áreas rurais. Ciclo de Palestras “**Mulheres que falam de Saneamento**”. Observatório do Saneamento (ONDAS). Palestra apresentada 29 set. 2022. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=SoipOwf1Wdg>. Acesso em fevereiro/2023.

SILVA, T. M.; FREIRIA, R. C. **Diagnóstico e implementação de políticas públicas no âmbito do saneamento rural envolvendo famílias de baixa renda**. *Revista dos Trabalhos de Iniciação Científica da UNICAMP*, Campinas, SP, n. 26, 2019. DOI: 10.20396/revpibic2620181301. Disponível em: <https://econtents.bc.unicamp.br/eventos/index.php/pibic/article/view/1301> Acesso em: novembro/2024.

SILVA, W. T. L. **Novo marco legal e as implicações no saneamento rural.** Disciplina “Tópicos especiais em hidráulica e saneamento”. Palestra apresentada 10 set 2020. Organização: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento (PPGSHS) da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP). Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=37VXpyiYU-A&t=351s> Acesso em fevereiro/2023.

SVDS. **Secretaria do Verde, Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável da Prefeitura de Campinas.** Geoambiental. Informações ambientais especializadas. Metadados: Bancos de dados espaciais de Campinas. 2018. Disponível em: https://geoambiental.campinas.sp.gov.br/pmapper/map_svds.phtml?config=svds Acesso em abril/2023.

TONETTI, A. L.; FIGUEIREDO, I. C. S.; MADRID, F. J. P. L.; MAGALHÃES, T. M.; MIYAZAKI, C. K. **Cost confrontation study for decentralized wastewater treatment: When to adopt a cluster or onsite system?** International Journal of Environmental Science and Technology., v.18, p.1 -, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03327-w>. Acesso em março/2023.

USAID, 2022. **Decision Support Tools for Sanitation-Related Policymaking.** Washington, DC., USAID Water, Sanitation, and Hygiene Partnerships and Learning for Sustainability (WASHPaLS) Project. Disponível em: https://www.globalwaters.org/sites/default/files/washpals_mbs_dst_technical_paper_revised.pdf Acesso em novembro/2024.

USEPA. **United States Environmental Protection Agency. Handbook for Managing Onsite and Clustered (Decentralized) wastewater treatment systems.** An introduction to management tools and information for implementing EPA’s Management guidelines. 2005. USEPA: EPA No. 832-B-05-001. Cópia eletrônica. Disponível em: <https://www.epa.gov/nscep> Acesso em abril/2023.

USEPA. **United States Environmental Protection Agency. Source water protection practises Bulletin Managing Septic Systems to Prevent Contamination of Drinking Water.** 2001. USEPA: EPA No. 816-F-01-021. Cópia eletrônica. Disponível em: <https://www.epa.gov/septic/septic-system-impacts-water-sources> Acesso em abril/2023.